

Учреждение образования
«Барановичский государственный университет»

Вестник БарГУ

Ежеквартальный научно-практический журнал

Издаётся с марта 2013 г.

Выпуск 7, июнь, 2019.

Серия «Технические науки»

Учредитель: учреждение образования «Барановичский государственный университет».

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор журнала Кочурко Василий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Белорусской инженерной академии, академик Международной академии технического образования, академик Международной академии наук педагогического образования, академик Академии экономических наук Украины, Заслуженный работник образования Республики Беларусь, ректор учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Заместитель главного редактора журнала Климук Владимир Владимирович, кандидат экономических наук, доцент, проректор по научной работе учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ

Главный редактор серии

Алифанов Александр Викторович, лауреат Государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры оборудования и автоматизации производства учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Ответственный секретарь серии

Горбач Юлия Евгеньевна, старший преподаватель кафедры информационных технологий и физико-математических дисциплин инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Редактор текстов на английском языке

Пинюта Ирина Вячеславовна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры профессиональной иноязычной подготовки учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Гавриленя Андрей Константинович (*ответственный за направление «Машиностроение и машиноведение»*), кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Дубень Игорь Викторович (*ответственный за направление «Процессы и машины агроинженерных систем»*), кандидат технических наук, доцент кафедры технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии инженерного факультета, декан факультета довузовской подготовки учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Анискович Геннадий Иосифович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий и организации технического сервиса учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (Минск, Республика Беларусь).

Белый Алексей Владимирович, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Гордиенко Анатолий Илларионович, академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Девойно Олег Георгиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской инновационной лабораторией плазменных и лазерных технологий филиала Белорусского национального технического университета «Научно-исследовательская часть» (Минск, Республика Беларусь).

Дремук Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Ивашко Виктор Сергеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технической эксплуатации автомобилей Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Калугин Юрий Константинович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машиноведения и технической эксплуатации автомобилей учреждения образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы» (Гродно, Республика Беларусь).

Карташевич Анатолий Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тракторов, автомобилей и машин для природообустройства учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Клочков Александр Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры сельскохозяйственных машин учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Клубович Владимир Владимирович, доктор технических наук, академик Национальной академии наук Беларуси, профессор, главный научный сотрудник Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Ласковнѳ Александр Петрович, доктор технических наук, академик Национальной академии наук Беларуси, академик-секретарь отделения физико-технических наук Национальной академии наук Беларуси (Минск, Республика Беларусь).

Томило Вячеслав Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой обработки металлов давлением Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Шелег Валерий Константинович, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Адрес редакции:

ул. Войкова, 21, 225404 г. Барановичи.

Телефон: +375 (163) 45 46 28.

E-mail: vestnik@barsu.by .

Подписные индексы: 00993 — для индивидуальных подписчиков; 009932 — для организаций.

Свидетельство о регистрации средств массовой информации № 1533 от 30.07.2012, выданное Министерством информации Республики Беларусь.

В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 21 января 2015 г. № 16 научно-практический журнал «Вестник БарГУ» серия «Технические науки» включѳн в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам

Научно-практический журнал «Вестник БарГУ» включѳн в РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), лицензионный договор № 06-1/2016.

Издатель: учреждение образования «Барановичский государственный университет».

Выходит на русском, белорусском и английском языках.

Журнал распространяется на территории Республики Беларусь.

Заведующий редакционно-издательской группой С. А. Березнюк

Технический редактор Е. И. Березич

Компьютерная вѳрстка С. А. Березнюк

Корректор С. А. Березнюк

Подписано в печать 14.06.2019. Формат 60 × 84¹/₈. Бумага ксероксная. Печать цифровая. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 12,75. Уч.-изд. л. 8,10. Тираж 75 экз. Заказ

Цена свободная.

Полиграфическое исполнение: Гродненское областное унитарное полиграфическое предприятие «Слонимская типография». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/203 от 07.03.2014, № 2 от 25.02.2014.

Адрес: ул. Хлюпина, 16, 231800 Слоним, Гродненская обл.

Установа адукацыі
«Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт»

Веснік БарДУ

Штоквартальны навукова-практычны часопіс

Выдаецца з сакавіка 2013 г.

Выпуск 7, чэрвень, 2019.

Серыя «Тэхнічныя навукі»

Заснавальнік: установа адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт».

РЭДАКЦЫЙНАЯ КАЛЕГІЯ

Галоўны рэдактар часопіса Качурка Васіль Іванавіч, доктар сельскагаспадарчых навук, прафесар, акадэмік Беларускай інжынернай акадэміі, акадэмік Міжнароднай акадэміі тэхнічнай адукацыі, акадэмік Міжнароднай акадэміі навук педагагічнай адукацыі, акадэмік Акадэміі эканамічных навук Украіны, Заслужаны работнік адукацыі Рэспублікі Беларусь, рэктар установы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Намеснік галоўнага рэдактара часопіса Клімук Уладзімір Уладзіміравіч, кандыдат эканамічных навук, дацэнт, прарэктар па навуковай рабоце ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

РЭДАКЦЫЙНАЯ КАЛЕГІЯ СЕРЫІ

Галоўны рэдактар серыі

Аліфанаў Аляксандр Віктаравіч, лаўрэат Дзяржаўнай прэміі Рэспублікі Беларусь у галіне навукі і тэхнікі, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры абсталявання і аўтаматызацыі вытворчасці ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Адказны сакратар серыі

Горбач Юлія Яўгеньеўна, старшы выкладчык кафедры інфармацыйных тэхналогій і фізіка-матэматычных дысцыплін інжынернага факультэта ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Рэдактар тэкстаў на англійскай мове

Пінюта Ірына Вячаславаўна, кандыдат педагагічных навук, дацэнт, дацэнт кафедры прафесійнай іншамоўнай падрыхтоўкі ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Гаўрыленя Андрэй Канстанцінавіч (*адказы за напрамак «Машинабудаванне і машыназастава»*), кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, загадчык кафедры тэхнічнага забеспячэння сельскагаспадарчай вытворчасці і аграноміі інжынернага факультэта ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Дубень Ігар Віктаравіч (*адказы за напрамак «Працэсы і машыны аграрна-інжынерных сістэм»*), кандыдат тэхнічных навук, дацэнт кафедры тэхнічнага забеспячэння сельскагаспадарчай вытворчасці і аграноміі інжынернага факультэта, дэкан факультэта давузаўскай падрыхтоўкі ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Анісковіч Генадзь Іосіфавіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, дацэнт кафедры тэхналогіі і арганізацыі тэхнічнага сервісу ўстановы адукацыі «Беларускі дзяржаўны аграрны тэхнічны ўніверсітэт» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Белы Аляксей Уладзіміравіч, член-карэспандэнт Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, доктар тэхнічных навук, прафесар, намеснік дырэктара па навуковай рабоце Дзяржаўнай навуковай установы «Фізіка-тэхнічны інстытут Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Гардзіенка Анатолій Іларыёнавіч, акадэмік Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, доктар тэхнічных навук, прафесар, галоўны навуковы супрацоўнік Дзяржаўнай навуковай установы «Фізіка-тэхнічны інстытут Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Дзявойна Алег Георгіевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, загадчык Навукова-даследчай інавацыйнай лабараторыі плазменных і лазерных тэхналогій філіяла Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта «Навукова-даследчая частка» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Драмук Уладзімір Аляксеевіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, дацэнт кафедры тэхнічнага забеспячэння сельскагаспадарчай вытворчасці і аграноміі ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Івашка Віктар Сяргеевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры тэхнічнай эксплуатацыі аўтамабіляў Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Калугін Юрый Канстанцінавіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, дацэнт кафедры машыназнаўства і тэхнічнай эксплуатацыі аўтамабіляў установы адукацыі «Гродзенскі дзяржаўны ўніверсітэт імя Янкі Купалы» (Гродна, Рэспубліка Беларусь).

Карташэвіч Анатолій Мікалаевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, загадчык кафедры трактараў, аўтамабіляў і машын для прыродаўладкавання ўстановы адукацыі «Беларуская дзяржаўная ордэнаў Кастрычніцкай Рэвалюцыі і Працоўнага Чырвонага Сцяга сельскагаспадарчая акадэмія» (Горкі, Рэспубліка Беларусь).

Клачкоў Аляксандр Віктаравіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры сельскагаспадарчых машын установы адукацыі «Беларуская дзяржаўная ордэнаў Кастрычніцкай Рэвалюцыі і Працоўнага Чырвонага Сцяга сельскагаспадарчая акадэмія» (Горкі, Рэспубліка Беларусь).

Клубовіч Уладзімір Уладзіміравіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, акадэмік Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, загадчык лабараторыі пластычнасці Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Ласкаўнёў Аляксандр Пятровіч, доктар тэхнічных навук, акадэмік Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, акадэмік-сакратар аддзялення фізіка-тэхнічных навук Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Таміла Вячаслаў Анатолевіч, доктар тэхнічных навук, дацэнт, дырэктар Дзяржаўнай навуковай установы «Фізіка-тэхнічны інстытут Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Шэлег Валерый Канстанцінавіч, член-карэспандэнт Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, доктар тэхнічных навук, прафесар, загадчык кафедры тэхналогіі машынабудавання Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Адрас рэдакцыі:

вул. Войкава, 21, 225404 г. Баранавічы.

Тэлефон: +375 (163) 45 46 28.

E-mail: vestnik@barsu.by.

Папiсныя iндэксy: 00993 — для iндывiдуальных падпiсчыкаў; 009932 — для арганiзацый.

Пасведчанне аб рэгістрацыі сродкаў масавай інфармацыі № 1533 ад 30.07.2012, выдадзенае Міністэрствам інфармацыі Рэспублікі Беларусь.

У адпаведнасці з загадам Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь ад 21 студзеня 2015 г. № 16 навукова-практычны часопіс «Веснік БарДУ» серыя «Тэхнічныя навукі» ўключаны ў Пералік навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў па тэхнічных навук (машынабудаванне і машыназнаўства; працэсы і машыны аграінжынерных сістэм).

Навукова-практычны часопіс «Веснік БарДУ» ўключаны ў РІНЦ (Расійскі індэкс навуковага цытавання), ліцэнзійны дагавор № 06-01/2016.

Выдавец: установа адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт».

Выходзіць на рускай, беларускай і англійскай мовах.

Часопіс распаўсюджваецца на тэрыторыі Рэспублікі Беларусь.

Загадчык рэдакцыйна-выдавецкай групы С. А. Беразнюк

Тэхнічны рэдактар А. І. Бярэзіч

Камп'ютарная вёрстка С. А. Беразнюк

Карэктар С. А. Беразнюк

Падпісана да друку 14.06.2019. Фармат 60 × 84 1/8. Папера ксерасная. Друк лічбавы. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 12,75. Ул.-выд. арк. 8,10. Тыраж 75 экз. Заказ

Кошт свабодны.

Паліграфічнае выкананне: Гродзенскае абласное ўнітарнае паліграфічнае прадпрыемства «Слоніўская тыпаграфія». Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі выдаўца, вытворцы, распаўсюджвальніка друкаваных выданняў № 1/203 ад 07.03.2014, № 2 ад 25.02.2014.

Адрас: вул. Хлюпіна, 16, 231800 Слоніў, Гродзенская вобл.

© БарДУ, 2019

Educational institution
“Baranovichi State University”

BarSU Herald

A quarterly scientific and practical journal

Published since March 2013.

Volume 7, June, 2019.

Engineering Series

Promoter: educational institution “Baranovichi State University”.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief Vasilii Ivanovich Kochurko, Doctor of Agriculture, Professor, Member of the Belarusian Academy of Engineering, Member of the International Academy of Technical Education, Member of the International Academy of Pedagogical Education, Member of the Academy of Economic Sciences of Ukraine, Distinguished educator of the Republic of Belarus, Rector of the educational institution “Baranovichi State University” (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Deputy Editor-in-Chief Vladimir Vladimirovich Klimuk, Ph. D. in Economic Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for research of the educational institution “Baranovichi State University” (Baranovichi, the Republic of Belarus).

EDITORIAL BOARD OF THE SERIES

Editor of the issue

Aleksandr V. Alifanov, State-Prize Winner of the Republic of Belarus in Science and Technology, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Equipment and Manufacturing Automation Chair of Engineering Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Executive secretary of the issue

Juliya E. Gorbach, Senior lecturer of the Information Technology and Physical and Mathematical Disciplines Chair of Engineering Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

English Text Editor

Iryna V. Piniuta, Ph. D. in Education, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Professional Foreign Language Training of Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Andrei K. Gavrilena (*in charge of the heading “Machine Building and Engineering Science”*), Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Technical Support of Agricultural Production and Agronomy Chair of Engineering Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Igor V. Duben (*in charge of the heading “Processes and Machines of Agro-engineering Systems”*), Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Technical Support of Agricultural Production and Agronomy Chair, Dean of the Pre-University Training Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Gennady I. Aniskovich, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Belarusian State Agrarian Technical University (Minsk, the Republic of Belarus).

Alexey V. Bely, A. M. of the National Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Scientific Work of the State Scientific Institution “The Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus” (Minsk, the Republic of Belarus).

Anatoly I. Gordienko, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the State Research Institution “The Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus” (Minsk, the Republic of Belarus).

Oleg G. Devoino, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Research Laboratory of Innovative Plasma and Laser Technology of the Belarusian National Technical University branch “Research Section” (Minsk, the Republic of Belarus).

Vladimir A. Dremuk, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Technical Support of Agricultural Production and Agronomy Chair of Engineering Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Viktor S. Ivashko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Automobile Technical Maintenance Chair of the Belarusian National Technical University (Minsk, the Republic of Belarus).

Yury K. Kalugin, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Engineering Science and Automobile Technical Maintenance Chair of “Yanka Kupala State University of Grodno”(Grodno, the Republic of Belarus).

Anatoly N. Kartashevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Tractors, Cars and Machines for Environmental Engineering Chair of the Belarusian State of the Orders of the October Revolution and the Order of the Labour Red Banner Agricultural Academy (Gorki, the Republic of Belarus).

Alexandr V. Klochkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor Agricultural Machinery Chair of the Belarusian State of the Orders of the October Revolution and the Order of the Labour Red Banner Agricultural Academy (Gorki, the Republic of Belarus).

Vladimir V. Klubovich, Doctor of Technical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Professor, Chief Researcher of the State Research Institution “The Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus” (Minsk, the Republic of Belarus).

Alexandr P. Laskovnyov, Doctor of Technical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Academician-secretary of the Physics and Technical Sciences Department of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, the Republic of Belarus).

Vyacheslav A. Tomilo, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metal Pressure Treatment of the Belarusian National Technical University (Minsk, the Republic of Belarus).

Valery K. Sheleh, A. M. of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Mechanical Engineering Chair of the Belarusian National Technical University (Minsk, the Republic of Belarus).

Editorial address:

21 Voykova Str., 225404 Baranovichi. Phone: +375 163 45 46 28.

E-mail: vestnik@barsu.by.

Subscription indices: 00993 — for individual subscribers; 009932 — for companies.

The certificate of the registration of mass media № 1533 of 30.07.2012 issued by the Ministry of Information of Belarus.

In accordance with the order of the board of the Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus on January 21, 2015 № 16 the scientific and practical journal “Bulletin of BarSU” the series “Engineering” was included on the list of the scientific publications of the Republic of Belarus for publishing the results of dissertation research in engineering sciences (mechanical engineering and machines, processes and machines of agroengineering systems).

Scientific and practical journal Vestnik BarSU is included into RSCI (Russian Science Citation Index), license agreement № 06-01/2016.

Published: educational institution “Baranovichi State University”.

Issued in Russian, Belarusian and English.

The journal is distributed on the territory of the Republic of Belarus.

Managing editor S. A. Bereznyuk
Technical editor E. I. Berezich
Desktop Publishing S. A. Bereznyuk
Proofreader S. A. Bereznyuk

Signed print 14.06.2019. Format 60 x 84 ¹/₈. Paper xerox. Digital printing. Headset Times. Conv. pr. s. l. 12.75. Acc.-pub. s. l. 8.10. Circulation of 75 copies. Order

Free price.

Printing performance: Grodno Regional Printing Unitary Enterprise “Slonim printing establishment”. The state registration certificate of the publisher, manufacturer and publications distributor № 1/203 of 07.03.2014, № 2 of 25.02.2014.

Address: 16 Hlyupin St., 231800 Slonim, Grodno region.

© BarSU, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Акулович Л. М., Сергеев Л. Е., Сенчуров Е. В., Дубновицкий С. К. Магнитно-абразивная обработка маховичков водопроводных вентиляей	10
Алехнович В. Н., Алифанов А. В., Милюкова А. М., Толкачева О. А. Разработка наплавочного плазмотрона, работающего на постоянно-импульсном напряжении	19
Алехнович В. Н., Алифанов А. В., Милюкова А. М., Толкачева О. А. Разработка порошкового питателя, позволяющего осуществлять работу наплавочного плазмотрона в постоянно-импульсном режиме	24
Алифанов А. В., Богданович И. А., Русан С. И., Цуран В. В. Обоснование разработки усовершенствованного высокоточного, высокопроизводительного метода заточки режущего лезвия геликоидальных рубильных ножей	29
Голубев В. С., Вегера И. И., Чернашеюс О., Чаевский В. В. Лазерная обработка материалов с изменением химического состава поверхностного слоя	34
Горчанин А. И., Милюкова А. М., Лях А. А. Повышение эффективности упрочняющей магнитно-импульсной обработки ножей со сложным профилем лезвия	43
Жигалов А. Н. Математическая модель и методика параметрической оптимизации износа и ресурсной стойкости режущего твердосплавного инструмента, упрочненного аэродинамическим звуковым методом	49
Кулешов А. К., Углов В. В., Русальский Д. П. Формирование износостойких слоистых покрытий из карбидов молибдена, вольфрама и кобальта на твердосплавном инструменте	64
Малеронок В. В., Алифанов А. В., Богданович И. А. Метод исследования упрочненного слоя металлических образцов с использованием токов высокой частоты	70
Михайлов М. И., Мельников В. В. Повышение работоспособности вытяжных конусов стана тонкого волочения	76

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Клочков А. В., Шкуратов С. С. Скорость падения зерен в восходящем воздушном потоке	83
Михайлов К. М., Михайлов М. И. Моделирование напряженно-деформированного состояния опоры измельчающего барабана кормоуборочного комбайна	90
Пивоварчик А. А., Гавриленя А. К., Сергей А. И. Исследование кинематической вязкости полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях механических транспортных средств	96

ЗМЕСТ

МАШЫНАБУДАВАННЕ І МАШЫНАЗНАЎСТВА

Акуловіч Л. М., Сяргееў Л. Я., Сенчуроў Я. В., Дубнавіцкі С. К. Магнітна-абразіўная апрацоўка махавічкоў водаправодных вентыляў	10
Аляхновіч В. М., Аліфанаў А. В., Мілюкова Г. М., Талкачова В. А. Распрацоўка наплавачнага плазматрона, які працуе на пастаянна-імпульсным напружанні	19
Аляхновіч В. М., Аліфанаў А. В., Мілюкова Г. М., Талкачова В. А. Распрацоўка парашковага сілкавальніка, які дазваляе ажыццяўляць работу наплавачнага плазматрона ў пастаянна-імпульсным рэжыме	24
Аліфанаў А. В., Багдановіч І. А., Русан С. І., Цуран У. У. Абаснаванне распрацоўкі ўдасканаленага высокадакладнага, высокапрадукцыйнага метада заточвання рэжучага ляза гелікаідальных рубільных нажоў	29
Голубеў В. С., Вегера І. І., Чарнашэюс А., Чаеўскі В. В. Лазерная апрацоўка матэрыялаў са змяненнем хімічнага складу паверхневага слою	34
Гарчанін А. І., Мілюкова Г. М., Лях А. А. Павышэнне эфектыўнасці ўмацавальнай магнітна-імпульснай апрацоўкі нажоў са складаным профілем ляза	43
Жыгалаў А. М. Матэматычная мадэль і метадыка параметрычнай аптымізацы зношвання і рэсурснай стойкасці рэжучага цвёрдасплаўнага інструмента, умацаванага аэрадынамічным гукавым метадам	49
Куляшоў А. К., Углоў У. В., Русальскі Д. П. Фарміраванне зносаўстойлівых слаістых пакрыццяў з карбідаў малібдэна, вольфрама і кобальта на цвёрдасплаўным інструменце	64
Маляронак У. У., Аліфанаў А. В., Багдановіч І. А. Метад даследавання ўмацаванага пласта металічных узораў з выкарыстаннем токаў высокай частаты	70
Міхайлаў М. І., Мельнікаў У. В. Павышэнне працаздольнасці выцяжных конусаў стана тонкага валачэння	76

ПРАЦЭСЫ І МАШЫНЫ АГРАНЖЫНЕРНЫХ СІСТЭМ

Клачкоў А. В., Шкуратаў С. С. Хуткасць падзення зярнят ва ўзыходзячым паветраным патоку	83
Міхайлаў К. М., Міхайлаў М. І. Мадэляванне напружана-дэфармаванага стану апоры здрабняльнага барабана кормаўборачнага камбайна	90
Піваварчык А. А., Гаўрыленя А. К., Сяргей А. І. Даследаванне кінематычнай вязкасці паўсінтэтычных маторных масел, якія выкарыстоўваюцца ў дызельных рухавіках механічных транспартных сродкаў	96

CONTENTS

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

Akulovich L. M., Sergeev L. E., Senchurov E. V., Dubnovitskiy S. K. Magneto-abrasive machining of flywheels of the water supply valves	10
Alehnovich V. N., Alifanov A. V., Miliukova A. M., Tolkachova O. A. Development of the supply plasmatron working on constant-pulse voltage	19
Alehnovich V. N., Alifanov A. V., Miliukova A. M., Tolkachova O. A. Development of powder feeder, allowing the operation of the surface plasmotron in constant-pulse mode	24
Alifanov A. V., Bogdanovich I. A., Rusan S. I., Tsuran V. V. Justification of the development of an improved high-precision, high-performance method of cutting blade of helicoidal cutting blades	29
Golubev V. S., Vegera I. I., Chernasheyus O., Chaevsky V. V. Laser treatment of materials with change of chemical composition of the surface layer	34
Harchanin A. I., Miliukova A. M., Lyah A. A. Improving the efficiency of the hardening magnetic-pulse processing of blades with a complex blade profile	43
Jigalov A. N. Mathematical model and method of parametric optimization of run-out and resource durability of cutting hardware tool hardened by aerodynamic sound method	49
Kuleshov A. K., Uglov V. V., Rusalsky D. P. Formation of wear resistant layered coatings of molybdenum carbides, tungsten and cobalt on a hard alloy tool	64
Maleronok V. V., Alifanov A. V., Bogdanovich I. A. Research method of the metal samples strengthened layer using high-frequency currents	70
Mikhailov M. I., Melnikov V. V. Improvement of the efficiency of exhaust cones of a fine-drawing mill	76

PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

Klochkov A. V., Shkuratov S. S. Speed of grain fall in a rising air flow	83
Mikhailov K. M., Mikhailov M. I. Modeling of the tense-deformed state of the support of the chopping drum of forage harvester	90
Pivovarchyk A. A., Haurylenia A. K., Sergey A. I. Study of kinematic viscosity of semisynthetic motor oils, used in diesel engines of mechanical vehicles	96

УДК 621.89.097.2

А. А. Пивоварчик¹, А. К. Гавриленя², А. И. Сергей¹

¹Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»,
Министерство образования Республики Беларусь, ул. Ожешко, 22, 230021, Гродно, +375 (29) 876 68 24,
Pivovarchik_AA@grsu.by

²Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Министерство образования
Республики Беларусь, ул. Войкова, 21, 225404 Барановичи, Республика Беларусь, +375 (29) 222 59 33,
AndrejGavrilenya@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ, ИСПОЛЗУЕМЫХ В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Научная новизна работы состоит в получении новых экспериментальных данных по изменению кинематической вязкости полусинтетических моторных масел марки SAE 10W40 производителей компаний Лукойл и Ursa, измеренной при 40 и 100 °С при увеличении пробега транспортного средства.

Показаны результаты исследования кинематической вязкости моторных масел марки SAE 10W40 от производителей: компаний Лукойл (Россия) и Ursa (Бельгия). Результаты исследований будут полезны инженерам-механикам при выборе марки моторного масла, используемого в дизельных двигателях внутреннего сгорания в целях увеличения надежности и работоспособности узлов и агрегатов двигателя.

Ключевые слова: дизельный двигатель внутреннего сгорания; автотранспортные механические средства; моторное масло; вискозиметр; кинематическая вязкость.

Рис. 2. Библиогр.: 14 назв.

A. A. Pivovarchyk¹, A. K. Haurylenia², A. I. Sergey¹

¹Yanka Kupala State University of Grodno, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 22 Ozheshko Str.,
230021 Grodno, the Republic of Belarus, Pivovarchik_AA@grsu.by, tel. +375 (29) 876 68 24

²Baranovichi State University, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 21 Voykova Str.,
225404 Baranovichi, the Republic of Belarus, AndrejGavrilenya@mail.ru, tel. +375 (29) 222 59 33

STUDY OF KINEMATIC VISCOSITY OF SEMISYNTHETIC MOTOR OILS, USED IN DIESEL ENGINES OF MECHANICAL VEHICLES

The scientific novelty of the study consists in obtaining new experimental data on changes in the kinematic viscosity of semi-synthetic motor oils of brand SAE 10W40 which was measured at 40 and 100° C with an increase in vehicle mileage. The results of the study of the kinematic viscosity of the engine oils SAE 10W40 that were produced by the companies of Lukoil (Russia) and Ursa (Belgium) have been shown. The data obtained will be useful to mechanical engineers when choosing the brand of motor oil for diesel internal combustion engines in order to increase the reliability and efficiency of engine components and assemblies.

Key words: diesel internal combustion engine; motor vehicles; motor oil; viscometer; kinematic viscosity.

Fig. 2. Ref.: 14 titles.

Введение. Двигатели внутреннего сгорания являются основным потребителем моторных масел. В настоящее время отечественными и зарубежными производителями выпускается более 200 различных марок моторных масел.

Моторные масла представляют собой сложные по химическому составу эксплуатационные материалы, в значительной степени определяющие работу двигателя. Правильно подобранное моторное масло позволяет увеличить ресурс работы двигателя в среднем до 40 %. В свою очередь, знание состава и эксплуатационных свойств моторных масел — необходимое условие для специалиста, работающего в сфере эксплуатации и обслуживания автотранспортных механических средств.

Вязкость является одним из наиболее важных свойств смазочного масла. Именно от вязкости в значительной степени зависят надежность поступления масла в зазоры основных узлов трения двигателя, создание достаточно прочной масляной пленки при трении, легкость пуска двигателя при низких температурах, механические потери, расход топлива, интенсивность изнашивания и т. д. [1—4].

Кинематическая вязкость (высокотемпературная) — эксплуатационный показатель качества для всех видов моторных масел. Она представляет собой отношение динамической вязкости к плотности моторного масла. Кинематическая вязкость также характеризует внутреннее трение состава или его сопротивление собственному течению, а также позволяет оценить показатели текучести моторного масла при рабочих температурах 40 °С и 100 °С.

В работах [3; 5] отмечается, что моторные масла по вязкости при 100 °С классифицируются на маловязкие (3...4 мм²/с), средневязкие (4...6 мм²/с), а также вязкие (8...9 мм²/с и выше). Вязкость моторного масла определяет толщину масляной пленки, образующуюся на поверхностях трения в процессе работы двигателя внутреннего сгорания, а следовательно, степень износа деталей двигателя, его прокачиваемость при низких температурах, а также надежность смазывания при высоких температурах. Кроме того, вязкость оказывает существенное влияние на потери на трение и расход топлива.

Из ГОСТ 10541-78 «Масла моторные универсальные и для автомобильных карбюраторных двигателей. Технические условия» следует, что кинематическая вязкость универсальных моторных масел, используемых в дизельных двигателях внутреннего сгорания при 100 °С, должна находиться в пределах от 8±0,5 до 17 мм²/с.

В работе [6] утверждается, что кинематическая вязкость моторного масла для дизельных двигателей при 100 °С должна находиться в пределах от 8 до 16,5 мм²/с, а при 40 °С — не ниже 160 мм²/с, что обеспечит высокую работоспособность двигателя.

По мнению, изложенному в работе [7], кинематическая вязкость моторного масла для дизельных двигателей при 100 °С должна находиться в пределах 12,0...14,0 мм²/с, что позволяет увеличить срок работы двигателя.

Для определения сроков службы моторного масла в двигателях ряд авторов рекомендует использовать так называемые браковочные показатели, при достижении которых моторное масло следует заменить [8—11]. Браковочные показатели для значения кинематической вязкости соответствуют следующим значениям: в сторону увеличения значения кинематической вязкости на 25 % и уменьшения первоначального значения более чем на 20 % [9—11].

Вследствие того, что условия эксплуатации механических транспортных средств могут быть весьма различны, в том числе по причине износа элементов двигателя внутреннего сгорания, нарушения температурного режима работы и других факторов, степень снижения эксплуатационных свойств моторных масел существенно возрастает, и, как итог, установленные заводом-изготовителем требования по замене моторного масла могут не выполняться. В связи с этим представляет интерес анализ возможного снижения одного из важнейших эксплуатационных свойств моторного масла — кинематической вязкости, измеренной при 40 и 100 °С, в целях уточнения фактических сроков замены моторного масла, что позволит увеличить срок службы двигателя.

Методика проведения исследований. Для исследований выбрали полусинтетические моторные масла для дизельных двигателей внутреннего сгорания Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 (Россия) и Ursa Premium TD SAE 10W40 (Бельгия). Выбор указанных марок связан с тем, что данные моторные масла централизованно закупаются Республикой Беларусь и используются на автотранспортных предприятиях. Выбранные марки моторных масел заливали в пассажирские автобусы марки МАЗ 203060, оборудованные дизельным двигателем DAIMLER AG с газотурбинным наддувом и охлаждением наддувочного воздуха соответственно. Перед проведением исследований провели замену моторного масла, при этом

пробег автотранспортного средства составлял 96 000 км. После чего через каждые 2 000 км до 20 000 км включительно отбиралась проба моторного масла для выполнения исследований по определению кинематической вязкости моторного масла при 40 °С и 100 °С.

После проведения исследований моторных масел образцы масла обратно заливали в двигатель автомобиля. Доливание свежего моторного масла в двигатель не проводили вследствие того, что перед проведением исследований масла залили до максимального уровня по щупу, что, в свою очередь, позволило получать более корректные экспериментальные данные. Перед отбором пробы исследуемого образца и продолжением дальнейших исследований следили за уровнем моторного масла в двигателе.

Кинематическую вязкость образцов моторного масла исследовали с использованием вискозиметра капиллярного ВПЖ-4 ГОСТ 10028-81 по методике, изложенной в ГОСТ 33-2000 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости». Сущность метода по определению кинематической вязкости заключается в измерении комбинированным стеклянным вискозиметром ВПЖ-4 времени истечения (в секундах) определенного объема испытуемой жидкости (моторного масла) под воздействием силы тяжести при постоянной температуре.

Кинематическую вязкость моторного масла определяли по формуле

$$\nu = \Pi \cdot t, \text{ мм}^2 / \text{с};$$

где Π — калибровочная постоянная вискозиметра, $\text{мм}^2 / \text{с}$;

t — время истечения образца из вискозиметра, с.

Образец для исследования помещали в термостатирующее подогревающее устройство и выдерживали в течение 1 ч при температуре 60 ± 2 °С, при этом осуществляли периодическое тщательное перемешивание пробы стеклянной палочкой. Температуру при выполнении экспериментов контролировали с помощью термометра А1 (ГОСТ 28498-90) с ценой деления 1 °С, после чего образец заливали в колбу 1-300-1 (ГОСТ 1770-74) 300 см³ в количестве, необходимом для заполнения вискозиметра до уровня, указанного на приборе. Затем погружали колбу с пробой на 30 мин в баню с кипящей водой. Вискозиметр также помещали в термостатирующее устройство для предварительного прогрева до температуры испытания.

Время истечения исследуемого объема образца из вискозиметра при температуре 40 °С и 100 °С от первой отметки до второй фиксировали с использованием секундомера, с точностью измерения 0,1 с. Перед исследованием очередного образца моторного масла вискозиметр тщательно промывали, используя уайт-спирит, а затем сушили путем пропускания струи сухого отфильтрованного воздуха в течение не менее 2 мин до полного удаления следов уайт-спирита.

Результаты исследований и их обсуждение. Полученные экспериментальные данные по изменению кинематической вязкости моторных масел при температуре 40 °С показали, что исследуемый показатель с увеличением пробега автомобиля снижается для обеих марок моторного масла Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 и Ursa Premium TD SAE 10W40 (рисунок 1).

Из рисунка 1 видно, что наиболее интенсивное снижение кинематической вязкости при 40 °С происходит при пробеге двигателя 4 тыс. км и более. При этом кинематическая вязкость при 40 °С при пробеге автомобиля 4 тыс. км при работе двигателя на моторном масле Ursa Premium TD SAE 10W40 уменьшается от 129,8 до 103,7 $\text{мм}^2 / \text{с}$, а при использовании моторного масла марки Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 данный показатель снижается от 131,0 до 105,9 $\text{мм}^2 / \text{с}$.

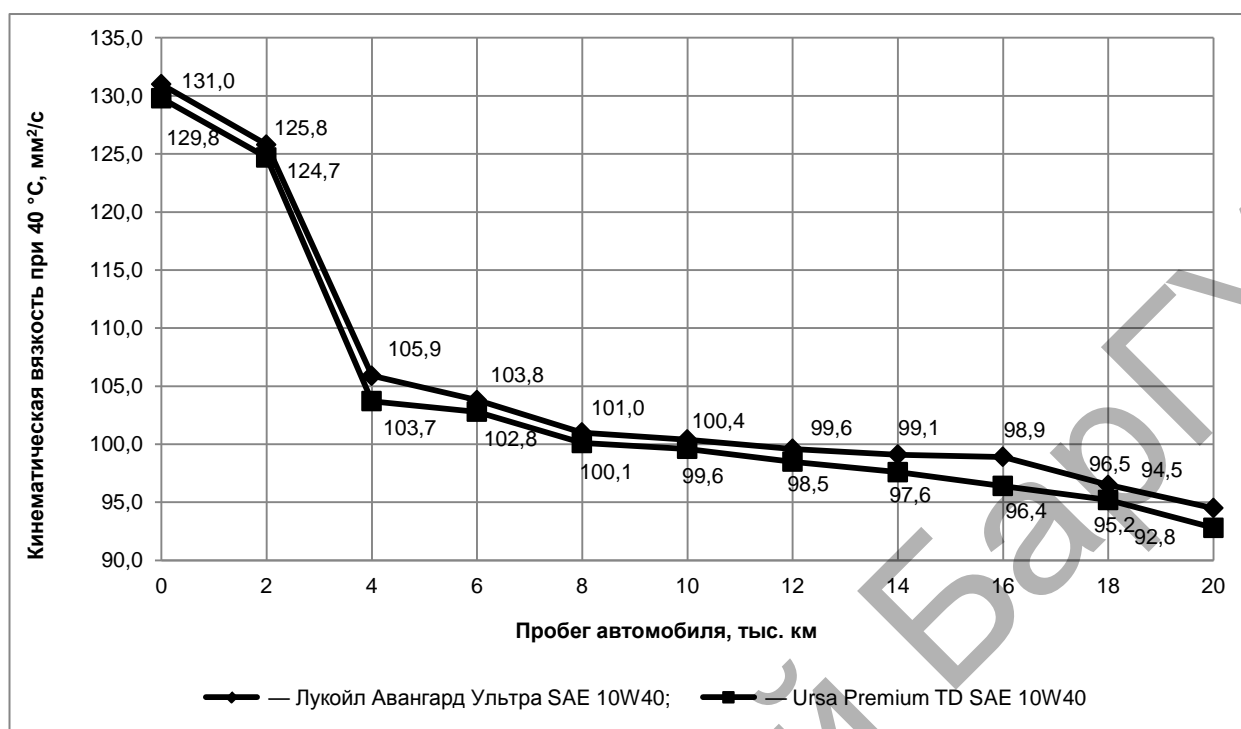


Рисунок 1. — Результаты исследования кинематической вязкости моторных масел марки Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 и Ursa Premium TD SAE 10W40 при 40 °C

Установлено, что при пробеге 4 тыс. км кинематическая вязкость при 40 °C образцов моторного масла марки Ursa Premium TD SAE 10W40 уменьшается на 20,1 %, а у моторного масла марки Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 — на 19,2 % в сравнении с исходными значениями исследуемого показателя качества моторного масла.

Также следует отметить, что при пробеге автомобиля до 20 тыс. км кинематическая вязкость при 40 °C при использовании моторного масла марки Ursa Premium TD SAE 10W40 понижается до 92,8 мм²/с, а у моторного масла марки Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 — до 94,5 мм²/с.

Как видно из рисунка 1, в результате пробега автомобиля до рекомендуемого срока замены моторного масла (20 тыс. км) кинематическая вязкость при 40 °C моторного масла марки Ursa Premium TD SAE 10W40 уменьшается на 28,5 %, моторного масла марки Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 — на 27,9 % соответственно в сравнении с первоначальным значением данного исследуемого показателя качества моторного масла.

Результаты исследований показали, что значение кинематической вязкости при 100 °C при исследовании образцов моторного масла марки Ursa Premium TD SAE 10W40 при пробеге 20 тыс. км снижается с 14,8 мм²/с до 11,2 мм²/с (рисунок 2). Установлено, что при пробеге 4 тыс. км кинематическая вязкость при 100 °C уменьшается наиболее значительно: с 14,8 до 12,0 мм²/с. При дальнейшем увеличении пробега до 6 тыс. км отмечен небольшой рост кинематической вязкости до 12,3 мм²/с, после чего кинематическая вязкость равномерно уменьшается в среднем на 0,1 мм²/с на последующих контрольных этапах измерения кинематической вязкости при 100 °C, равных 2 тыс. км.

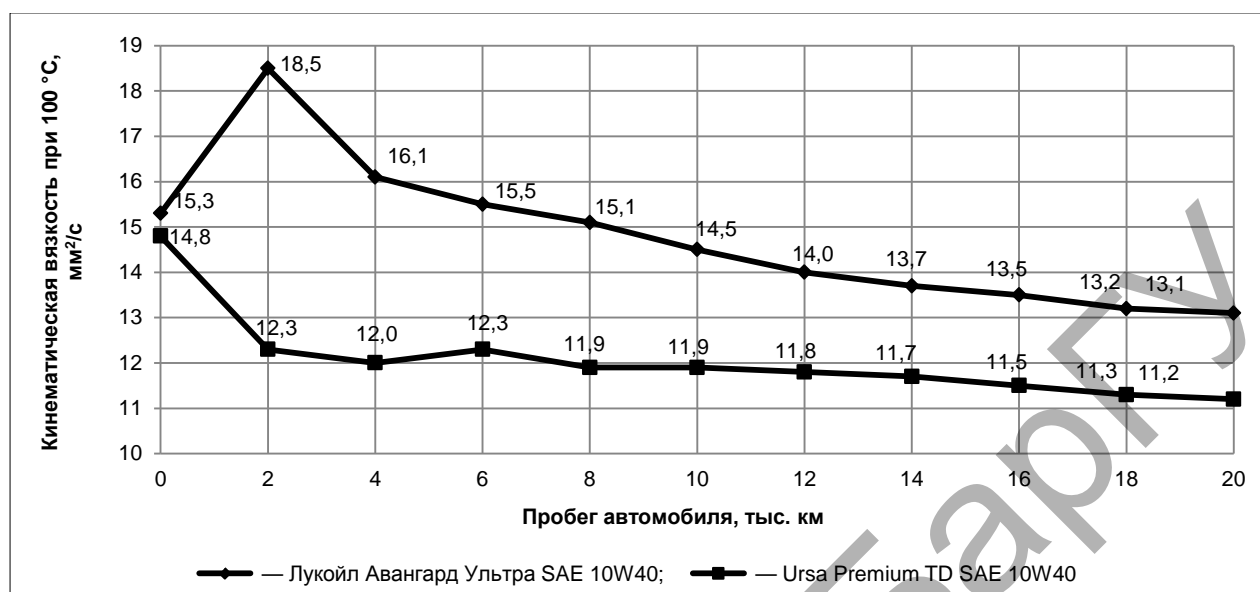


Рисунок 2. — Результаты исследования кинематической вязкости моторных масел марки Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 и Ursa Premium TD SAE 10W40 при 100 °C

Снижение значения кинематической вязкости при 100 °C моторного масла марки Ursa Premium TD SAE 10W40 при пробеге автомобиля 20 тыс. км составила 24,3 % (см. рисунок 2). Это свидетельствует о потере моторным маслом своих технологических свойств, так как, по мнению, изложенному в работах [12—14], моторное масло необходимо заменять раньше установленного нормативной документацией срока при снижении показателя более чем на 20 %. Однако мнение авторов, представленное в работах [9—11], свидетельствует о том, что замену моторного масла следует проводить при снижении кинематической вязкости на 30 % и более. Можно также предположить, что за последующие 2 тыс. км пробега значение кинематической вязкости уменьшается до значений, указывающих на преждевременную замену моторного масла.

На рисунке 2 показано, что кинематическая вязкость при 100 °C моторного масла Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 при пробеге автомобиля 20 тыс. км снижается с 15,3 до 13,1 мм²/с. Данные численные изменения вязкости соответствуют 14,4 %, что ниже рекомендуемого значения изменения вязкости, свидетельствующего о досрочной замене моторного масла. Однако при пробеге 2 тыс. км кинематическая вязкость возрастает до значения 18,5 мм²/с, что соответствует увеличению вязкости на 23,3 % в сравнении с исходным значением. Причиной роста кинематической вязкости после замены масла может быть испарение легких фракций, а также накопление продуктов полимеризации и нерастворимых побочных продуктов.

В работе [3] автор указывает на то, что вязкость моторного масла возрастает под влиянием трибоэлектрических полей, которые проявляются в результате возникновения разности потенциалов на границе раздела фаз «металл — моторное масло». Можно предположить, что после замены моторного масла на трущихся поверхностях цилиндропоршневой группы образовывалась защитная масляная пленка, являющаяся токопроводящей средой, что, в свою очередь, способствовало возникновению электро-вязкостного эффекта, вызывающего повышение кинематической вязкости исследуемого моторного масла.

Установлено, что наибольшее изменение значений кинематической вязкости моторного масла Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 наблюдается при пробеге от 2 до 12 тыс. км при изменении параметра от 18,5 до 14,0 мм²/с. При дальнейшем увеличении пробега с 12 до 20 тыс. км кинематическая вязкость моторного масла Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40, измеренная при 100 °C, изменяется с 14,0 до 13,1 мм²/с.

Следует отметить, что изменение исследуемого в данной работе эксплуатационного показателя моторного масла, очевидно, происходит вследствие естественного «старения», вызванного тяжелыми условиями его эксплуатации. Это вышесказанное подтверждается выполненной в процессе эксплуатации транспортного средства диагностикой автомобиля, в результате проведения которой не обнаружено каких-либо отклонений в работе двигателя и его основных конструктивных элементов системы питания автомобиля. Периодичность проведения диагностики транспортного средства составляла 1 раз через каждые 5 тыс. км пробега автомобиля.

Заключение. В результате проведенных исследований установлено, что кинематическая вязкость моторного масла марки Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40, измеренная при 40 °С, снижается при пробеге автомобиля 4 тыс. км на 0,9 % меньше, чем аналогичный показатель моторного масла Ursa Premium TD SAE 10W40, что свидетельствует о более высоком качестве масла.

Также установлено, что кинематическая вязкость моторного масла марки Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40, измеренная при 100 °С, при пробеге 20 тыс. км уменьшается на 9,8 % меньше, чем у моторного масла Ursa Premium TD SAE 10W40.

Таким образом, в качестве моторного масла для дизельных двигателей целесообразнее использовать моторное масло марки Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40 вследствие более высокого значения кинематической вязкости.

Список цитируемых источников

1. *Васильева, Л. С.* Автомобильные эксплуатационные материалы / Л. С. Васильева. — М. : Наука-Пресс, 2003. — 421 с.
2. *Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / В. В. Остриков [и др.].* — Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. — 304 с.
3. *Карташевич, А. Н.* Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка, А. В. Гордеенко. — М. : Инфра-М, 2015. — 420 с.
4. *Геленов, А. А.* Автомобильные эксплуатационные материалы / А. А. Геленов, Т. И. Соченко, В. Г. Спиркин. — 4-е изд., стер. — М. : Академия, 2015. — С. 115—116.
5. *Долгова, Л. А.* Обеспечение рационального ресурса моторного масла в двигателях / Л. А. Долгова, В. В. Салмин // *Вестн. Чуваш. гос. пед. ун-та им. И. Я. Яковлева.* — 2012. — № 2 (74). — С. 146—156.
6. *Трембач, Е. В.* Моторные и трансмиссионные масла, присадки / Е. В. Трембач. — Ростов н/Д : Феникс, 2000. — С. 81—97.
7. *Остриков, В. В.* Методические рекомендации по обоснованию наиболее информативных показателей качества работающих моторных масел и анализ существующих средств контроля / В. В. Остриков, В. В. Белогорский. — Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2007. — 62 с.
8. *Трофименко, И. Л.* Автомобильные эксплуатационные материалы / И. Л. Трофименко, Н. А. Коваленко, В. П. Лобах. — Минск : Новое знание, 2008. — 232 с.
9. *Сырбаков, А. П.* Топливо и смазочные материалы / А. П. Сырбаков, М. А. Корчуганова ; Том. политехн. ун-т. — Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2015. — 159 с.
10. *Каня, В. А.* Автомобильные эксплуатационные материалы / В. А. Каня, В. С. Пономаренко. — Омск : СибАДИ, 2012. — 242 с.
11. *Трубилов, А. К.* Автомобильные эксплуатационные материалы / А. К. Трубилов, В. А. Хитрюк. — Минск : Респ. ин-т проф. образования, 2012. — С. 79—105.
12. *Доблер, В. И.* Повышение эксплуатационной надежности двигателей дорожных и строительных машин трибологическим контролем состояния и активацией моторных масел : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.04 / В. И. Доблер ; Том. политехн. ун-т. — Томск, 2005. — 23 с.
13. *Дашивец, Г. И.* Обоснование периодичности замены моторных масел при эксплуатации тракторных двигателей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Г. И. Дашивец ; ЦНИИ механизации и электрификации сел. хоз-ва Нечернозем. зоны СССР. — Минск, 1990. — 15 с.
14. *Чудиновских, А. Л.* Разработка научных основ химмотологической оценки автомобильных моторных масел : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.17.07 / А. Л. Чудиновских ; Рос. гос. ун-т нефти и газа (нац. исслед. ун-т) им. И. М. Губкина. — М., 2016. — 50 с.

Поступил в редакцию 11.01.2019