

Тип статьи: научная

УДК 631.372

DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-46-52

## ИЗНОС ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ В ТЕЧЕНИЕ ПРОГРЕВА

*Станислав Николаевич Шуханов*<sup>1</sup>, *Петр Антонович Болоев*<sup>2</sup>, *Галия Ергешевна Кокиева*<sup>3</sup>,  
*Андрей Александрович Абидуев*<sup>4</sup>, *Александр Сергеевич Пехутов*<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского,  
г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>1</sup>Shuhanov56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2134-6871>

<sup>2</sup>Бурятский государственный университет им. Д.Банзарова, г. Улан-Удэ, Российская Федерация

<sup>2</sup>boloev.pioter.irgsha@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3940-1296>

<sup>3,4,5</sup>Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова,  
г. Улан-Удэ, Российская Федерация

<sup>3</sup>kokievagalia@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3447-1911>

<sup>4</sup>abana47@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0731-1085>

<sup>5</sup>pekhutov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6757-8574>

Автор ответственный за переписку: Станислав Николаевич Шуханов, Shuhanov56@mail.ru  
Corresponding author: Stanislav Shukhanov, Shuhanov56@mail.ru

**Реферат.** Оптимальное функционирование силовых агрегатов, в том числе ресурс коррелирует с условиями их эксплуатации. Особую значимость это имеет в условиях резко-континентального климата, присущего Приангарью, где проводились исследования. Актуальность представляют процессы износа дизеля в течение прогрева. Объектом исследования служила модель дизеля Д-240. Циклы пуска и прогрева мотора при +20°C, +10°C и 0°C рассматривали. При каждом температурном режиме проводили 20 пусков. Для оценки износа использовали фотоколориметрический анализ содержания железа в моторном масле. Масло брали из картера двигателя, как до, так и после пусков. Оценка износа деталей силового агрегата было выполнена путем измерения при прогреве мотора на холостых оборотах коленчатого вала, а также под номинальной нагрузкой. Оценка содержания железа в масле при функционировании дизеля с температурой охлаждающей жидкости 80°C, с номинальной нагрузкой при температуре атмосферного воздуха от +20°C до -30°C. В ходе экспериментов было установлено, что износ деталей поршневого двигателя внутреннего сгорания марки Д-240 в условиях Приангарья при реализации циклов пуска и прогрева на холостом ходу тождественен в среднем 36,5% от суммарного эксплуатационного износа; при пуске и последующем прогреве дизеля под номинальной нагрузкой износ соответствовал 13,8%. Прогрев на холостом ходу является причиной более высокого износа деталей по сравнению с прогревом под нагрузкой. Полученные данные представляют ценность при оптимизации условий эксплуатации дизельных силовых агрегатов в регионах с резко-континентальным климатом.

**Ключевые слова:** агропромышленный комплекс, дизельный двигатель, ресурс, прогрев, износ.

## DIESEL ENGINE WEAR DURING WARMING UP

*Stanislav Shukhanov*<sup>1</sup>, *Petr Boloev*<sup>2</sup>, *Galia Kokieva*<sup>3</sup>, *Andrey Abiduev*<sup>4</sup>, *Alexander Pekhutov*<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk State Agrarian University named after. A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russian Federation

<sup>1</sup>Shuhanov56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2134-6871>

<sup>2</sup>Buryat State University named after. D. Banzarov, Ulan-Ude, Russian Federation

<sup>2</sup>boloev.pioter.irgsha@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3940-1296>

<sup>3,4,5</sup>Buryat State Agricultural Academy named after. V.R. Filippova, Ulan-Ude, Russian Federation

<sup>3</sup>kokievagalia@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3447-1911>

<sup>4</sup>abana47@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0731-1085>

<sup>5</sup>pekhutov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6757-8574>

**Abstract.** *The optimal functioning of power units, including their service life, correlates with their operating conditions. This is of particular importance in the conditions of the sharply continental climate inherent in the Angara region, where the research was carried out. The processes of diesel wear during warm-up are relevant. The object of the study was the diesel model D-240. Cycles of starting and warming up the engine at +20°C, +10°C and 0°C were considered. At each temperature condition, 20 starts were carried out. To assess wear, photocolometric analysis of the iron content of engine oil was used. Oil was taken from the engine crankcase, both before and after starts. The assessment of wear of power unit parts was carried out by measuring when the engine warmed up at idle speed of the crankshaft, as well as under rated load. Assessment of iron content in oil when operating a diesel engine with a coolant temperature of 80°C, with a rated load at an ambient temperature of +20°C to -30°C. During the experiments, it was found that the wear of parts of the D-240 piston internal combustion engine in the Angara region during the start-up and warm-up cycles at idle is identical to an average of 36.5% of the total operational wear; during startup and subsequent warming up of the diesel engine under rated load, wear corresponded to 13.8%. Warming up at idle causes higher wear of parts compared to warming up under load. The data obtained are valuable for optimizing the operating conditions of diesel power units in regions with a sharp continental climate.*

**Keywords:** *agro-industrial complex, diesel engine, resource, heating, wear.*

**Для цитирования:** Шуханов С.Н., Болоев П.А., Кокнева Г.Е., Абидуев А.А., Пехутов А.С. Износ дизельного двигателя в течение прогрева // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 69, № 3. С. 46-52. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-46-52>.

**For citation:** Shukhanov S., Boloev P., Kokieva G., Abiduev A., Pekhutov A. Diesel engine wear during warming up. *Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia*: 2024; 69(3): 46-52. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-46-52>.

**Введение.** Производственные процессы на современном этапе развития агропромышленного комплекса обеспечиваются техническими средствами и технологиями на базе достижений научных разработок аграрной науки [1,2]. Главным образом для этого используются машины и оборудование механизации сельского хозяйства. Также в аграрном секторе страны нашли широкое применение автомобили и трактора. Ключевое значение при этом имеет техника, оснащенная двигателями внутреннего сгорания как основного источника энергии машин сельскохозяйственного назначения [3-6]. Корректная работа силовых агрегатов, в том числе их ресурс во многом зависят от условий эксплуатации. Особую значимость это имеет в условиях резко-континентального климата, присущего Приангарью, где проводились исследования. В частности, актуальность представляют процессы износа дизеля в течение прогрева.

**Цель исследования** - определение износа дизельного двигателя в течение прогрева.

**Материалы и методы.** В качестве объекта исследования использовался дизельный силовой агрегат марки Д-240. Температура атмосферного воздуха была +20 °С, 10°С и 0°С. Повторность пусков тождественна 20. Содержание железа в моторном масле определялась посредством использования фотоколориметрического анализа до и после пусков.

**Результаты и обсуждение.** Износ деталей силового агрегата оценивался по работе в режиме прогрева. Эксперименты выполнялись при разных значениях температуры атмосферного воздуха. Кроме того, нагрузочные режимы двигателя также были разными. При работе силового агрегата с номинальной нагрузкой значение температуры охлаждающей жидкости соответствовало нормальной величине – 80 °С. Затем оценивали износ мотора путем определения количества снятого железа. В то же время температурные значения атмосферного воздуха находились в диапазоне от +20 до -30°С [7,8]. После этого полученные результаты сравнивали, что позволяло определить собственно износ деталей испытываемого дизельного силового агрегата.

Полученные данные после обработки результатов исследований продемонстрировали увеличение износа деталей при понижении температуры от +20°С до -30°С. Количественное значение износа варьировалась в пределах от 7,6 до 13,0 мг/час. Это означает, что при понижении температуры износ деталей увеличивается. Относительное увеличение: в целом, износ деталей при пониженных температурах возрастает примерно в 1,7 раза.

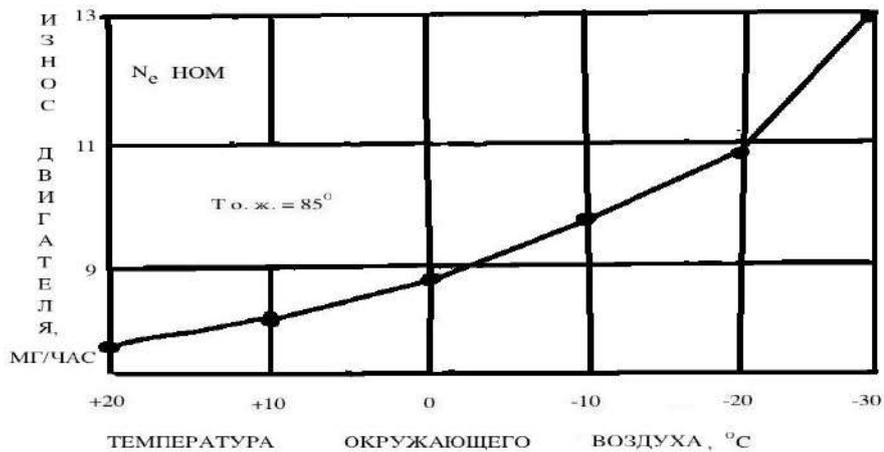


Рисунок 1 – Износ дизельного силового агрегата при функционировании при номинальном значении нагрузки

На износ деталей силового агрегата в сторону увеличения оказывают влияние понижение температурных показателей воздуха окружающей среды, в том числе применяемый тепловой режим работы дизеля.

Установлена тенденция возрастания износа деталей силового агрегата по мере повышения среднего индикаторного давления, которое коррелирует с жесткостью работы двигателя. Жесткость функционирования дизеля возрастает при понижении температуры окружающего воздуха, что усиливает износ.

Анализ проб моторного масла, осуществленный в процессе исследования продемонстрировал, что износ деталей двигателя увеличивается при понижении температуры атмосферного воздуха во время пуска. Если при  $+20^{\circ}\text{C}$  износ соответствует 1,40 мг железа, то при  $+10^{\circ}\text{C}$  он увеличился до 1,67 мг железа; а при  $0^{\circ}\text{C}$  уже достиг 1,80 мг железа.

Время, необходимое для пуска силового агрегата, возрастает с понижением температуры атмосферного воздуха. Если при значении температуры окружающего воздуха  $+20^{\circ}\text{C}$  время пуска равно 5,1 секунды, то при  $0^{\circ}\text{C}$  оно увеличивается до 7,5 секунды. При значении температуры воздуха минус  $30^{\circ}\text{C}$  и подогреве силового агрегата до  $0^{\circ}\text{C}$  время продолжительности пуска возрастает до 10 секунд.

Сравнительный анализ износа. Для более полного понимания величины износа при пуске дизеля приведем данные выполненного анализа экспериментальных исследований. Величина износа, полученного в результате одного пуска при положительном значении температуры тождественна износу за 0,20-0,21 часа функционирования двигателя при температуре атмосферного воздуха равной  $+20^{\circ}\text{C}$ .

При значении атмосферного воздуха равном  $0^{\circ}\text{C}$  величина износа при осуществлении одного пуска соответствует величине износа за 0,21 часа функционирования силового агрегата при том же значении температуры или же 0,24 часа функционирования при температуре окружающего воздуха равном  $+20^{\circ}\text{C}$ .

Выполненный анализ данных экспериментальных исследований по скорости износа позволил установить, что износ в процессе осуществления одного пуска представляет собой несущественную величину, тогда как скорость изнашивания во время пуска значительно выше.

Также результаты выполненных опытов выявили, что продолжительность времени процесса пуска находится в пределах от 5,1 до 7,5 секунды при температурных значениях  $+20^{\circ}\text{C}$ , а также  $+10^{\circ}\text{C}$  атмосферного воздуха и соответственно при значении температуры  $0^{\circ}\text{C}$  временной диапазон увеличивается и тождественен 7,5-10,1 секунды.

Таким образом, реальное значение скорости изнашивания деталей мотора при осуществлении пуска в 96-100 раз выше в сопоставлении с нормальной работой дизеля. Эти данные подчеркивают

важность прогрева двигателя в холодных условиях и выбора подходящего моторного масла для снижения износа.

Одним из ключевых факторов высокого значения скорости процесса изнашивания силового агрегата при осуществлении процесса пуска происходит по причине отсутствием подачи необходимого смазочного материала к трущимся поверхностям деталей. Показания масляного манометра фиксируются лишь через 5,1 сек. после начала пуска при тепловом состоянии мотора перед пуском тождественном соответственно 0 °С, а также 10°С. Кроме того, имеется такой факт: меньшее значение абсолютного износа элементов силового агрегата за время осуществления пуска его.

Влияние температуры на износ деталей: износ деталей двигателя увеличивается при более высоких температурах. Это связано с тем, что при высоких температурах: толщина масляной пленки: Масляная пленка на трущихся поверхностях становится тоньше.

Несущая способность масла: Несущая способность масла уменьшается, что приводит к ухудшению смазки деталей.

Кроме того, функционирование силового агрегата во время процесса прогрева характеризуется его осуществлением на пониженном, а также неустановившемся тепловом режиме работы. В том числе образование коррозионного изнашивания цилиндров, включая поршневые кольца является фактором повышенного износа при функционировании мотора на пониженном тепловом режиме. Работа силового агрегата под нагрузкой способствует сокращению времени его прогрева, что ведет к уменьшению его износа.

Для выявления зависимости температуры, включая нагрузку со значением износа деталей дизельного силового агрегата в процессе выполнения экспериментов в качестве температурных величин окружающего воздуха был принят диапазон от +20°С до -30°С. В таблице 1 сведены значения износа при различных температурах, а также режимах нагрузки.

Таблица 1- Значения износа деталей двигателя при различных температурах и нагрузочных

Режим процесса прогрева	Значение температуры окружающего воздуха, °С					
	+20	+10	0	-10	-20	-30
	Износ в мг снятого железа					
х, ход	17,3	19,0	20,9	23,7 (до 65 <sup>0</sup> )	30,0 (до 59 <sup>0</sup> )	37,7 (до 53 <sup>0</sup> )
1/3 N <sub>с</sub> ном	12,2	14,2	15,1	21,2	26,0 (до 78 <sup>0</sup> )	36,6 (до 74 <sup>0</sup> )
1/2 N <sub>с</sub> ном	9,6	10,8	12,1	17,2	20,6	27,0
2/3 N <sub>с</sub> ном	8,0	8,3	9,8	11,7	14,0	19,5
N <sub>с</sub> ном	6,4	6,8	8,4	9,8	11,0	14,5

Из данных таблицы 1 явствует, что величина износа дизельного силового агрегата за пуск-прогрев тесно коррелирует со значением температуры атмосферного воздуха, кроме того, с нагрузочным режимом функционирования мотора.

Изменение величины износа деталей дизельного двигателя в процессе пуска-прогрева в корреляции с температурой окружающего воздуха проиллюстрировано на графике (рисунок 2). Анализ этого графика показывает, что понижение значения температуры атмосферного воздуха влияет отрицательным образом на износ силового агрегата при прогреве, а именно в сторону его возрастания. Экспериментальные исследования проводились на модели дизеля Д-240 при различных условиях прогрева.

Влияние температуры окружающей среды. Понижение значения температуры окружающей среды в диапазоне от +20°С до -30°С значительно увеличивают количественный показатель износа деталей дизеля в период прогрева на холостых оборотах. А именно, понижению значения температуры атмосферного воздуха до -30°С величина износа возрастает в 2,2 раза.

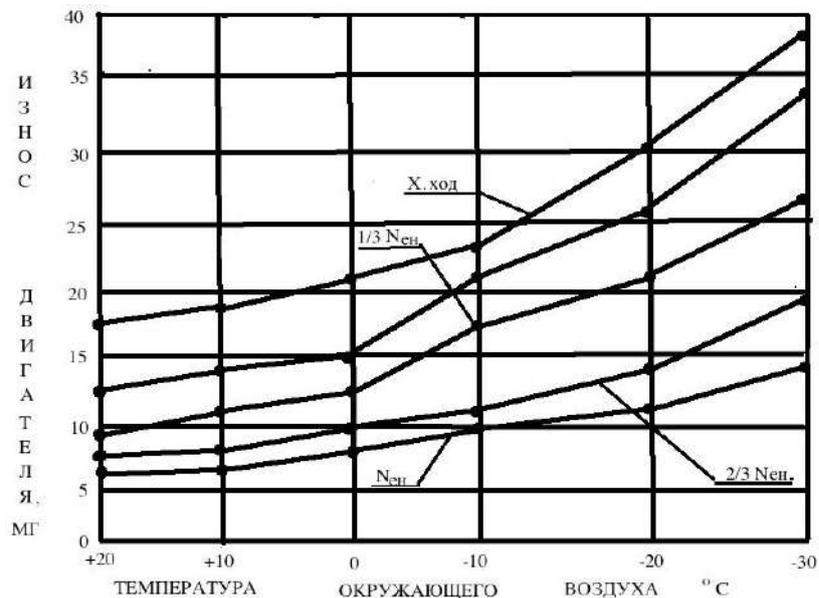


Рисунок 2 – Износ деталей силового агрегата за пуск-прогрев

Влияние нагрузки, а также времени прогрева. Функционированию мотора в холостом режиме прогрев жидкости системы охлаждения до значения 82°С занимает 45 минут при температуре атмосферного воздуха +20°С. При работе мотора в таком же режиме, но при значении -30°С окружающего воздуха достижение той же температуры охлаждающей жидкости занимает около 60 минут. Это объясняется более низкой эффективностью охлаждения при низких температурах.

Влияние нагрузки на износ. Мы также изучили влияние нагрузки на износ двигателя. При увеличении нагрузки от холостого хода до номинальной мощности наблюдается снижение износа. Прогрев двигателя под номинальной нагрузкой снижает износ в 2,61-2,8 раза по сравнению с прогревом на холостых оборотах при различных температурах.

Сравнительный анализ времени прогрева, в том числе износа. Из сравнительного анализа времени прогрева, а также износа становится понятным, что уменьшение времени прогрева не всегда пропорционально уменьшению износа. Это может быть обусловлено различными условиями прогрева и температурой окружающей среды.

На основе наших данных мы составили таблицу 2.

Таблица 2 - Данные значений средней скорости изнашивания деталей дизеля при прогреве под нагрузкой при разных температурах окружающего воздуха

Режим прогрева	Температура окружающего воздуха, °С					
	+20	+10	0	-10	-20	-30
	Средняя скорость изнашивания, %					
x, ход	100	100,9	108,5	-	-	-
1/3 N <sub>н</sub> ном	198,0	178,0	178,0	165,0	-	-
2/3 N <sub>н</sub> ном	197,0	196,0	230,0	240,0	205,0	178,0
N <sub>н</sub> ном	276,0	253,0	287,0	318,0	312,0	250,0

Анализ результатов экспериментов (таблица 2) показывает, что значение средней скорости изнашивания дизельного силового агрегата при прогреве во время его функционирования под нагрузкой, соответствующей номинальной мощности, в 2,5-3 раза превышает значение средней скорости изнашивания при прогреве на холостом ходу. Повышение средней скорости изнашивания с увеличением нагрузки объясняется двумя причинами: более высоким удельным давлением на трущиеся поверхности деталей кривошипно-шатунного механизма и возрастанием коррозионного изнашивания цилиндров. С увеличением нагрузки на двигатель увеличивается

количество образующихся продуктов сгорания, некоторые продукты сгорания, такие, как двуокись углерода и сернистые соединения образуют с водой, выделяющееся при сгорании, кислоты, которые отличаются высокой коррозионной активностью. Установлено [7], что особой коррозионной агрессивностью продукты сгорания отличаются при пониженной температуре стенок цилиндров, что и имеет место при прогреве дизельного двигателя. Процесс прогрева силового агрегата при его функционировании под нагрузкой сопровождается высоким значением средней скорости величины изнашивания. Это объясняется значительным сокращением продолжительности процесса прогрева относительно времени прогрева на холостых оборотах коленчатого вала мотора.

Данные, полученные путем сравнения значений износа дизельного мотора за период осуществления одного цикла пуска-прогрева (таблица 1) с величиной износа за один час его функционирования (7,6 мг) на номинальной мощности при температуре охлаждающей жидкости 85<sup>0</sup>С, а также при температуре окружающего воздуха +20<sup>0</sup>С, сведены в таблицу 3.

Таблица 3 - Данные по продолжительности функционирования дизеля в часах, эквивалентной по износу пуску-прогреву в корреляции со значением температуры окружающего воздуха и режима прогрева

Режим прогрева	Температура окружающего воздуха, <sup>0</sup> С					
	+20	+10	0	-10	-20	-30
	Продолжительность работы дизельного двигателя в часах, эквивалентная по износу пуску-прогреву					
х, ход	2,3	2,4	2,8	3,1	4,0	5,0
1/3 N <sub>е</sub> ном	1,6	1,8	2,0	2,5	3,7	4,4
2/3 N <sub>е</sub> ном	1,0	1,1	1,3	1,5	1,6	2,7
N <sub>е</sub> ном	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,9

Проведенный анализ данных из таблицы 3 показывает, что наивысший уровень износа дизельного силового агрегата наблюдается при прогреве на холостых оборотах. Этот уровень износа характеризуется устойчивым увеличением на всех режимах прогрева при снижении температуры окружающей среды. Некоторые итоговые результаты по исследованию циклов пусков и прогрева, в том числе функционирование с трактором в течение года, отражены в таблице 4.

Таблица 4 – Итоговые результаты

Режим	Износ, г
пуск и прогрев на холостых оборотах	7,4
пуск, а также прогрев под нагрузкой (мощность-номинальная)	2,8
Работа в нормальном тепловом режиме (температура охлаждающей жидкости 85 <sup>0</sup> С) с номинальной нагрузкой	20.3

**Заключено.** В результате выполненных экспериментальных исследований по изучению износа дизельного двигателя Д-240 в течение прогрева установлено, что уровни износа в условиях резко-континентального климата Приангарья в среднем при пуске, а затем последующем прогреве на холостых оборотах тождественен 36,5%, а при пуске и прогреве под нагрузкой на номинальной мощности соответствует 13,8% от всего эксплуатационного износа.

#### Список источников

1. Ильин П.И. Определение оптимальной частоты вращения коленчатого вала при диагностировании // Актуальные вопросы аграрной науки. - 2018. № 28. - С. 5-14.
2. Сухаева А.Р., Алтухова Т.А., Алтухов С.В. Совершенствование стенда для испытания энергоаккумуляторов автомобилей // Актуальные вопросы аграрной науки. - 2021. № 38. - С. 26-33.
3. Егоров И.Б. Влияние особенностей конструкции двигателей внутреннего сгорания на его ресурс // В книге: Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии

агропромышленного комплекса региона. сборник научных тезисов студентов. п. Молодежный - 2021. С. 120-121.

4. Голубев Д.Н. Особенности электронных систем впрыскивания топлива // Научный журнал молодых ученых. - 2022. № 4 (29). - С. 32-38.

5. Голубев Д.Н. Особенности функционирования каталитического преобразователя и лямбда-зонда // Научный журнал молодых ученых. - 2022. № 5 (30). - С. 40-45.

6. Степанов Н.В., Сухаева А.Р., Хороших О.Н., Хараев Г.И., Доржиев А.С. Обзор и анализ системы рециркуляции отработавших газов (EGR) // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. - 2022. № 4 (31).

7. Попов В.В., Болоев П.А. Эксплуатация тракторных дизелей в зимний период. Иркутск, 2013.

8. Шуханов С.Н., Кузьмин А.В., Хороших О.Н. Обзор и анализ исследований по износу в процессе пуска и прогрева двигателя // Известия международной академии аграрного образования. - 2021. № 57.- С. 77-79.

#### References

1. Ilyin P.I. Determination of the optimal crankshaft rotation speed during diagnostics // Current issues of agrarian science. - 2018. No. 28. - P. 5-14.

2. Sukhaeva A.R., Altukhova T.A., Altukhov S.V. Improving a stand for testing energy accumulators of cars // Current issues of agrarian science. - 2021. No. 38. - P. 26-33.

3. Egorov I.B. The influence of design features of internal combustion engines on its service life // In the book: The importance of scientific student circles in the innovative development of the region's agro-industrial complex. collection of scientific theses of students. p. Molodezhny - 2021. P. 120-121.

4. Golubev D.N. Features of electronic fuel injection systems // Scientific journal of young scientists. - 2022. No. 4 (29). - pp. 32-38.

5. Golubev D.N. Features of the functioning of the catalytic converter and lambda probe // Scientific journal of young scientists. - 2022. No. 5 (30). - P. 40-45.

6. Stepanov N.V., Sukhaeva A.R., Khoroshikh O.N., Kharaev G.I., Dorzhiev A.S. Review and analysis of the exhaust gas recirculation (EGR) system // Electronic scientific and methodological journal of Omsk State Agrarian University. - 2022. No. 4 (31).

7. Popov V.V., Boloev P.A. Operation of tractor diesel engines in winter. Irkutsk, 2013.

8. Shukhanov S.N., Kuzmin A.V., Khoroshikh O.N. Review and analysis of research on wear during engine start-up and warm-up // Proceedings of the International Academy of Agrarian Education. - 2021. No. 57.- P. 77-79.

#### Информация об авторах

С.Н. Шуханов - доктор технических наук, доцент; П. А. Болоев - доктор технических наук, профессор; Г.Е. Кокиева – доктор технических наук, доцент; А.А. Абидуев – доктор технических наук, доцент; А.С. Пехутов доктор технических наук, доцент.

#### Information about the authors

S. Shukhanov - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; P. Boloev - Doctor of Technical Sciences, Professor; G. Kokieva – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; A. Abiduev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; A. Pekhutov - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor.

**Вклад авторов** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**Contribution of the authors:** all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

**The authors declare no conflict of interest.**

Поступила в редакцию (Received): 13.05.2024 Принята к публикации (Accepted): 15.06.2024