



ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕРМОПРОФИЛЯ УЗЛОВ ТРАНСМИССИИ КОЛЕСНЫХ МАШИН ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Иванников Валерий Александрович

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой производства, ремонта и эксплуатации машин Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г. Ф. Морозова (РФ)

✉¹**Никulin Максим Алексеевич**

аспирант кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова (РФ), e-mail: nikulin.vrn@bk.ru

Самойленков Сергей Сергеевич

аспирант кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова (Российская Федерация)

Аннотация.

В статье рассмотрены материалы по оптимизации температурного режима узлов трансмиссии колесных машин при эксплуатации в условиях низких температур. При подготовке данного обзора использовались публикации на русском языке, опубликованные в период с 2000 по 2021 год. Проведён анализ материалов, касающихся определения оптимального температурного режима узлов трансмиссии машин, рассмотрены интегрированные системы подвода тепла. Предложены направления дальнейшего развития вопроса определения и обеспечения оптимального термопрофиля узлов и агрегатов трансмиссии колёсных машин.

Ключевые слова: АГРЕГАТЫ ТРАНСМИС-

DETERMINATION AND PROVISION OF OPTIMAL THERMAL PROFILE IN TRANSMISSION UNITS OF WHEELED VEHICLES DURING OPERATION AT LOW TEMPERATURES

Valeriy A. Ivannikov

doctor of technical sciences, associate professor, head of the department of production, repair and operation of machines, Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov (Russian Federation)

✉¹**Maxim A. Nikulin**

postgraduate student of the department of production, repair and operation of machines, Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov (Russian Federation), e-mail: nikulin.vrn@bk.ru

Sergey S. Samoylenkov

postgraduate student of the department of production, repair and operation of machines, Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov (R F)

Annotation.

The article discusses materials on optimizing the temperature regime of transmission units of wheeled vehicles when operating at low temperatures. In preparing this review, we used materials in Russian published in the period from 2000 to 2021. We analyzed the materials illustrating the determination of the optimal temperature regime for transmission units, considered integrated heat supply systems, and proposed directions for further development of the process for determining and ensuring the optimal thermal profile in the transmission units of wheeled vehicles.

Keywords: TRANSMISSION UNITS, WIN-

СИИ, ЗИМНИЕ УСЛОВИЯ, ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ, ПОТЕРИ МОЩНОСТИ, ОПТИМАЛЬНЫЙ ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ, ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЕ.

TER CONDITIONS, TEMPERATURE MODE OF OPERATION, POWER LOSS, OPTIMAL THERMAL MODE, TEMPERATURE CONTROL.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Большая протяженность Российской Федерации обуславливает разнообразие климатических условий, в которых эксплуатируется сельскохозяйственная и лесозаготовительная техника. Значительная часть территорий характеризуется продолжительными морозными периодами с крайне низкими пиковыми температурами (до -45°C) [1].

Температура окружающей среды оказывает влияние на энергоэффективность и интенсивность изнашивания узлов трансмиссии. Многие исследователи согласны в том, что температура трансмиссионного масла является основным влияющим фактором [2-5]. Из-за увеличения вязкости масла потери в трансмиссии могут достигать до 40 %, что в свою очередь приводит к значительному перерасходу топлива [6].

Влияние температуры масла на интенсивность изнашивания деталей узлов трансмиссии активно исследовали еще в середине XX-го века. Например, в работе А. И. Яговкина установлено, что при понижении температуры трансмиссионного масла с 80 до 0 градусов по Цельсию интенсивность изнашивания шестерен КПП увеличивается в 10,2 раза, а ведущего моста в 8,7 раза независимо от скорости движения и нагрузки [7].

Высокая стоимость топлива, эксплуатационных материалов и деталей машин, делает направление повышения общей энергоэффективности и надёжности применяемых в сельском и лесном хозяйствах машин и тракторов значимым для повышения общей экономической эффективности отрасли.

Целью данного обзора является анализ разработанности темы определения и обеспечения оптимального температурного режима узлов трансмиссии грузовых автомобилей и колесных тракторов, использующихся в сельском и лесном хозяйстве.

2 Материалы и методы

При подготовке данного обзора использовались публикации на русском языке, опубликованные в период с 2000 по 2021 год. Отбор статей производился:

- при помощи таких ресурсов, как elibrary.ru, scholar.google.com и cyberleninka.ru;
- по следующим ключевым словам, : коробка передач, редукторы ведущих мостов, зимние условия, низкие температуры, температурный режим работы, зимняя эксплуатация, ресурсосбережение, модель оптимизации, тепловой баланс, теплота отработавших газов, потери мощности, оптимальный тепловой режим, агрегаты трансмиссии, зубчатые передачи, интенсивность изнашивания, температура трансмиссионного масла, терморегулирование;
- в категориях: машиностроение, военное дело, лесная и деревообрабатывающая промышленность, механизация и электрификация сельского хозяйства.

3 Результаты исследований

Произведённый отбор показал, что на текущий момент вопросами оптимизации температурного режима узлов трансмиссии колесной техники, эксплуатируемой в зонах низких температур окружающей среды, активно занимаются следующие ученые: Долгушин А. А., Крохта Г. М., Курносов А. Ф., Маломыжев О. Л., Неговора А. В., Орехов А. А., Рязанов М. М., Спицын И. А., Корнеев С. В., Гусев Д. А., Буравкин Р. В.

Отметим, что в публикациях, прошедших отбор и принятых к рассмотрению в рамках данного обзора, часто в качестве базиса для проводимых научных изысканий используются труды Яговкина А. И., Соловьева А. И., Резника Л. Г., Пустозерова Ю. И., Карпова П. М.,

Госмана А. И., Евтеева В. К., Бугакова Ю. С., и ряда других авторов, чьи работы были опубликованы во второй половине XX-го века.

Поиску и обоснованию оптимальных эксплуатационных температур узлов трансмиссии колёсных машин сельского и лесного хозяйства было посвящено множество работ во второй половине XX века, однако изменение номенклатуры эксплуатационных материалов и конструктивного исполнения узлов трансмиссии современных машин привело к необходимости актуализации знаний в данной области [8, 9].

Многие исследователи [10] в результате проведённых исследований пришли к выводу, что нормальная температура трансмиссионного масла в механических коробках перемены передач и ведущих мостах для колёсных машин лежит в диапазоне 30-50⁰С, при этом значительного дополнительного расхода топлива не происходит уже при температуре масла от 20⁰С. Следует отметить, что нижний температурный предел безопасного страгивания с места колёсной машины ключевым образом зависит от типа используемого трансмиссионного масла, однако в работе [6] установлено, что при использовании наиболее часто рекомендуемых производителями техники масел API GL-5 SAE 80W-90 уже при температуре минус 25⁰С существует значительная опасность повреждения деталей трансмиссии.

В своей диссертации М. М. Рязанов [11] ставит вопрос о том, что существующие способы тепловой подготовки основаны на преобразовании электрической энергии в стационарных условиях и не соответствуют требованиям ГОСТ Р 50992-96. При этом автор ставит под сомнение обоснованность применения температуры трансмиссионного масла как ключевого показателя предстартовой тепловой подготовки современных механических коробок перемены передач, таких как ZF16S1820. Вместо температуры автор предлагает рассматривать показатели расхода масла в каналах смазки коробки передач в качестве определяющего фактора окончания предстартовой тепловой подготовки. В ходе экспериментов автором установлено, что для обеспечения работоспособности системы смазки КП ZF16S1820 вязкость масла не должна быть более 235 мм²/с, что, например, для масла ZF TE-ML02 соответствует температуре -5⁰С. Данное значение температуры автор рекомендует для завершения тепловой подготовки.

В свою очередь, С. В. Корнеев в своих работах [12-14] предлагает решить вопрос с обеспечением эксплуатационной надёжности машин в условиях холодного климата через правильный подбор трансмиссионного масла и предлагает комплексный критерий выбора трансмиссионного масла, учитывающий стабильность его трибологических характеристик к фактору обводнения в диапазоне, ограниченном предельной концентрацией, установленной по предельной нагрузке сваривания и эффективность его применения в конкретных условиях эксплуатации.

Однако, менее вязкие масла, например, API GL-4+ SAE 75W-80 хоть и позволяют осуществлять безопасное страгивание с места, но всё же имеют достаточно высокую вязкость, чтобы приводить к существенным потерям мощности и перерасходу топлива до выхода на приемлемый температурный режим (свыше 20⁰С) [6]. Важно отметить, что при эксплуатации в тёплый период в средней полосе России узлы механических трансмиссий тракторов редко прогреваются до температур выше 50⁰С, а в условиях холодных регионов России, температура узлов трансмиссии часто не достигает 0⁰С даже в эксплуатационных условиях при выполнении работ [15, 16].

Другими словами, обеспеченный правильным подбором трансмиссионного масла и предстартовой тепловой подготовкой допустимый для начала принятия нагрузки температурный порог не является оптимальным режимом с точки зрения эксплуатационной энергоэффективности машины в целом. В работе [2] оптимальный тепловой режим с точки зрения ресурсосбережения предлагается рассматривать как комплексный показатель, учитывающий затраты ресурсов на обеспечение заданного термопрофиля агрегата и затраты ресурсов на преодоление момента трения в заданных условиях. Формализовать задачу определения оптимального термопрофиля узлов трансмиссии колёсных машин авторы предлагают, как определение суммарных затрат ресурсов на функционирование агрегата и их минимизацию, т.е. минимальным затратам соответствует оптимальный тепловой режим. Авторы предлагают два

типа решения поставленной задачи: графическое и аналитическое.

Очевидно, что обеспечение высоких значений коэффициента приспособленности машины к внешним условиям начинается еще на стадии проектирования [17]. Методы расчета тепловых характеристик узлов и агрегатов машин непрерывно совершенствуются. Например, в работе О. Л. Маломыжева [18] поиск оптимального температурного режима узлов трансмиссии рассмотрен с точки зрения расчета при проектировании и доводке. На основе приведенных в работе математических выражений можно построить модели для расчета тепловых режимов отдельных агрегатов, используя которые еще на стадии проектирования и конструкторско-доводочных работ можно внести своевременные изменения в конструкцию для оптимизации теплового режима. Однако, решение задачи по обеспечению оптимального термопрофиля агрегатов становится невозможным, если принять во внимание продиктованную рыночной экономикой необходимость конструирования универсальных с точки зрения диапазона допустимых температур внешней среды машин. Следовательно, для обеспечения оптимального температурного режима агрегатов трансмиссии необходимы интегрированные в конструкцию машины средства управляемого подвода и отвода тепла.

На текущий момент есть несколько основных направлений подвода тепла к узлам трансмиссии: использование теплоты отработавших газов, использование теплообменников для нагрева трансмиссионного масла в картере двигателя, электрические подогреватели, использующие энергию бортовой сети машины.

В патенте RU2662572CC2 предлагается система поддержания заданного термопрофиля трансмиссионного масла в коробке передач путём перенаправления потока масла, циркулирующего в системе в водо-масляный или воздушно-масляный теплообменники. Водомасляный теплообменник служит для передачи тепла между контуром охлаждения двигателя внутреннего сгорания и трансмиссионным маслом, тогда как воздушно-масляный теплообменник рассеивает тепловую энергию трансмиссионного масла в атмосферный воздух.

Рассматриваемая конструкция имеет достаточно большой потенциал при использовании на машинах с малым объемом трансмиссионного масла и имеющее не более двух ведущих мостов при умеренно низких или, наоборот, умеренно высоких температурах окружающей среды. Однако, для машин сельскохозяйственного и лесозаготовительного назначения данная конструкция малопригодна ввиду того, что объем теплоносителя в двигателе значительно меньше объема трансмиссионного масла и отнимаемой у системы охлаждения двигателя теплоты будет недостаточно для обеспечения оптимального термопрофиля узлов трансмиссии при эксплуатации машины в условиях низких температур.

В патентах RU65290U1, RU189233U1 и RU2506503C1 предлагаются конструкции тепловых аккумуляторов фазового перехода, в том числе с саморегулируемым устройством подогрева от бортовой электросети машины. Данные устройства способны обеспечить длительную сохраняемость температуры масла в межсменное время, что сократит затраты на подготовку узлов трансмиссии машины к принятию нагрузки, но обладают рядом существенных недостатков:

- предполагают перекачивание масла из агрегата в аккумулятор на время тепловой подготовки и межсменной стоянки, и обратный слив в агрегат перед началом работ;
- не способны поддерживать соответствующую оптимальному термопрофилю температуру в процессе выполнения работ.

Разработанная А.А. Долгушиным и А.Ф. Курносовым система обеспечения теплового режима узлов механической трансмиссии транспортного средства (RU130058U1) лишена вышеописанных недостатков. К тому же, система использует бросовую теплоту ДВС, что повышает общую энергоэффективность машины. Отслеживаемая по датчикам температура агрегатов трансмиссии позволяет управлять процессом тепловой подготовки при помощи электромагнитных клапанов, установленных в магистрали системы.

Подобная система, но доработанная с точки зрения средств и алгоритма управления, предложена в патенте RU2577916C1. Принципиально схожая конструкция имеет электрон-

ный блок управления, позволяющий при помощи электромагнитных клапанов регулировать количество подаваемого теплоносителя к агрегатам, тем самым регулируя температуру узлов согласно заданному алгоритму. Являющийся ключевой особенностью данной разработки алгоритм поддержания температуры агрегатов трансмиссии в заданных диапазонах, в тоже время, является полем для дальнейшего развития, так как предложенные авторами диапазоны температур являются довольно широкими и могут в значительной мере отличаться от оптимального для конкретной машины в конкретных условиях.

Однако, система не лишена недостатков. Во-первых, если рассматривать возможность её использования на машинах, работающих в сложных дорожных условиях, например, на вырубках, систему необходимо дорабатывать с точки зрения обеспечения защиты её элементов от механических воздействий. Во-вторых, значимым недостатком системы можно считать отсутствие средств достаточно длительного пассивного поддержания температуры в межсменное время, что не позволяет экономить ресурсы на тепловую подготовку узлов к принятию нагрузки, что не соответствует условию поиска оптимума, предложенному в работе [2].

4 Обсуждение и заключение

В работе А. В. Неговоры [19] обозначены основные недостатки современной методологии в подготовке узлов трансмиссии колёсных машин к принятию нагрузки, корнем которых по мнению автора является отсутствие единой актуализированной нормативной базы, которая позволила бы без существенных затрат значительно повысить надежность и эффективность функционирования систем и узлов колёсной техники в условиях низких температур за счет обоснованного применения тех или иных технологических решений согласно разработанной для эксплуатационных служб инструкции.

Касательно узлов трансмиссии задача нормирования тепловой подготовки и обеспечения оптимальных температур в работе усложняется тем, что для определения оптимального температурного режима для каждого конкретного узла на конкретной модели машины в заданных условиях необходимо накопление значительного объема статистических данных, что стало возможным только в последние годы в связи с расширением и удешевлением электронно-вычислительной элементной базы.

Существующие системы внешнего управления эксплуатационными температурами узлов и агрегатов трансмиссии также имеют потенциал к усовершенствованию и переходу от экспериментальных моделей к серийным образцам через унификацию основных элементов этих систем и решению обозначенных ранее проблем оптимизацией алгоритма управления и защите элементов системы от внешних факторов.

Учитывая современные тенденции, элементы управления могут быть задействованы в сборе необходимого объема статистических данных для обеспечения самообучения данного класса систем при объединении их в единое информационное поле.

Предложенный в работах О. Л. Маломыжева математический аппарат может быть адаптирован к расчету теплового режима узлов и агрегатов трансмиссии на стадии проектирования внешних пассивных терморегулирующих конструкций: например, прочных композитных кожухов с теплоизолирующим материалом, которые будут решать, помимо прочего, проблему защиты элементов систем подведения тепла от внешних факторов и, в свою очередь, не будут являться вмешательством в заложенную производителем конструкцию, что позволит избежать сложностей с гарантийным обслуживанием машин.

Список литературы

1 Буравкин, Р. В. Совершенствование процесса передачи мощности трансмиссией дорожно-строительных машин в условиях холодного климата (на примере автогрейдера ДЗ-98) : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Р. В. Буравкин. – Омск, 2011. – 18 с.

2 Долгушин, А. А. Обоснование оптимального теплового режима работы агрегатов автомобилей / А. А. Долгушин, Д. М. Воронин, О. В. Мамонов // Инновации в сельском хозяйстве. – 2018. – № 1(26). – С. 318-326.

3 Орехов А. А., Тимохин С. В., Спицын И. А., Кухмазов К. З. Обеспечение рационального температурного режима коробки передач автомобиля КамАЗ сельскохозяйственного назначения // Нива Поволжья. 2019. №4 (53).

4 Селиванов Н. И. Эффективное использование тракторов в зимних условиях Восточной Сибири : рекомендации / Н. И. Селиванов ; КрасГАУ. – Красноярск, 2006. – 52 с.

5 Холиков, М. С. Термические характеристики процесса парообразования трансмиссионного масла марки "LUMIX transmission oil : SAE 80W-90; API GL-5" / М. С. Холиков // Доклады Национальной академии наук Таджикистана. – 2021. – Т. 64. – № 7-8. – С. 449-455.

6 Долгушин, А. А. Особенности применения трансмиссионных масел в условиях Западной Сибири / А. А. Долгушин, А. Б. Черкасов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2009. – № 4(196). – С. 73-76.

7 Яговкин А. И. Исследование влияний тепловыделений двигателя на температурный режим агрегатов трансмиссии автомобиля ГАЗ-66 при эксплуатации в зимних условиях / А. И. Яговкин, Л. Г. Резник // Тр. Тюмен. индустриал. ин-та. – 1969. – № 8. – С. 35-37.

8 Володько, О. С. Определение срока службы масла в агрегатах трансмиссии из условий напряженности его работы / О. С. Володько, А. П. Быченин // Механизация и автоматизация строительства : Сборник статей / Под редакцией С. Я. Галицкова. – Самара : Самарский государственный технический университет, 2018. – С. 38-41.

9 Шуханов, С. Н. Методика расчёта температур агрегатов трансмиссий со смазкой окунанием / С. Н. Шуханов, О. Л. Маломыжев // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 3. – С. 55-57.

10 Скутельник, В. В. Влияние температурного режима масла на износ элементов трансмиссии транспортных машин / В. В. Скутельник, О. Л. Маломыжев, Д. С. Фадеев // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 11(82). – С. 220-223.

11 Разяпов, М. М. Повышение работоспособности агрегатов трансмиссии автотракторной техники в условиях низких температур : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Разяпов Махмут Магдутович. – Уфа, 2013. – 16 с.

12 Корнеев, С. В. Выбор трансмиссионных масел для использования в условиях холодного климата / С. В. Корнеев, Р. В. Буравкин // Строит. и дорож. машины. – 2008. – № 10. – С. 29-31.

13 Корнеев С. В. и др. Влияние низких температур на свойства материалов и поток отказов мобильной техники // Омский научный вестник. – 2009. – №. 1 (77).

14 Корнеев С. В. и др. Влияние низких температур на внутренние потери в агрегатах трансмиссии // Омский научный вестник. – 2017. – №. 5 (155).

15 Иванников, А. Б. Вторичное использование теплоты выхлопных газов двигателя для повышения эффективности функционирования агрегатов на примере коробки передач трактора : кандидатская / Иванников, Алексей Борисович. – Новосибирск : ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», 2017. – 181 с.

16 Исследование теплового режима работы агрегатов трансмиссии и подвески

автомобиля в зимних условиях / А. А. Долгушин, А. Ф. Курносков, М. В. Вакуленко, Д. А. Домнышев // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – № 7.

17 Резник Л. Г. Эффективность использования автомобилей в различных условиях эксплуатации / Л. Г. Резник, Г. М. Ромалис, С. Т. Чарков. – М. : Транспорт, 1989. – 123 с.

18 Маломыжев О. Л., Шуханов С. Н. Построение математических моделей для расчётов теплового режима агрегатов трансмиссий // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 1 (63).

19 Неговора, А. В. Современная концепция тепловой подготовки автотракторной техники в условиях низких температур / А. В. Неговора, М. М. Разяпов, С. З. Инсафуддинов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4(48). – С. 135-141. – DOI 10.31563/1684-7628-2018-48-4-135-141.

References

1 Buravkin R. V. Improvement of the power transmission process by the transmission of road-building machines in cold climate conditions (by the example of the DZ-98 grader) : abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences / R. V. Buravkin. – Omsk, 2011. – 18 p.

2 Dolgushin, A. A. Substantiation of the optimal thermal mode of operation of aggregatovautomobiles / A. A. Dolgushin, D. M. Voronin, O. V. Mamonov // Innovations in agriculture. – 2018. – № 1(26). – Pp. 318-326.

3 Orekhov A. A., Timokhin S. V., Spitsyn I. A., Kukhmazov K. Z. Ensuring the rational temperature regime of the transmission of the KAMAZ agricultural vehicle // Niva of the Volga region. 2019. № 4 (53).

4 Selivanov N. I. Effective use of tractors in winter conditions of Eastern Siberia : recommendations / N. I. Selivanov ; KrasGAU. – Krasnoyarsk, 2006. – 52 p.

5 Kholikov, M. S. Thermal characteristics of the vaporization process of transmission oil brand "LUMIX transmission oil: SAE 80W-90 ; API GL-5" / M. S. Kholikov // Reports of the National Academy of Sciences of Tajikistan. – 2021. – Vol. 64. – №. 7-8. – pp. 449-455.

6 Dolgushin, A. A. Features of the use of transmission oils in the conditions of Western Siberia / A. A. Dolgushin, A. B. Cherkasov // Siberian Bulletin of Agricultural Science. – 2009. – № 4(196). – Pp. 73-76.

7 Yagovkin A. I. Investigation of the effects of engine heat emissions on the temperature regime of GAZ-66 transmission units during operation in winter conditions / A. I. Yagovkin, L. G. Reznik // Tr. Tyumen. industrial. in-ta. – 1969. – №. 8. – pp. 35-37.

8 Volodko, O. S. Determination of the service life of oil in transmission units from the conditions of its work intensity / O. S. Volodko, A. P. Bychenin // Mechanization and automation of construction: Collection of articles / Edited by S.Ya. Galitskova. – Samara : Samara State Technical University, 2018. – pp. 38-41.

9 Shukhanov, S. N. Methodology for calculating temperatures of transmission units with lubrication by dipping / S. N. Shukhanov, O. L. Malomyzhev // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. – 2017. – №. 3. – pp. 55-57.

10 Skutelnik, V. V. Influence of oil temperature regime on wear of transmission elements of transport vehicles / V. V. Skutelnik, O. L. Malomyzhev, D. S. Fadeev // Bulletin of Irkutsk State Technical University. – 2013. – № 11(82). – Pp. 220-223.

11 Razyapov, M. M. Improving the efficiency of transmission units of automotive equipment at low temperatures : specialty 05.20.03 "Technologies and means of maintenance in agriculture" :

abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Razyapov Mahmut Magdutovich. – Ufa, 2013. – 16 p.

12 Korneev S. V. The choice of transmission oils for use in cold climate conditions / S. V. Korneev, R. V. Buravkin // Builds. and expensive. cars. – 2008. – №. 10. – pp. 29-31.

13 Korneev S. V. et al. The influence of low temperatures on the properties of materials and the failure rate of mobile equipment // Omsk Scientific Bulletin. – 2009. – №. 1 (77).

14 Korneev S. V. et al. The effect of low temperatures on internal losses in transmission units // Omsk Scientific Bulletin. – 2017. – №. 5 (155).

15. Ivannikov, A. B. Secondary use of the heat of engine exhaust gases to improve the efficiency of the operation of aggregates on the example of a tractor gearbox : candidate / Ivannikov, Alexey Borisovich. – Novosibirsk : Novosibirsk State Agrarian University, 2017. – 181 p.

16 Investigation of the thermal mode of operation of transmission and suspension units of a car in winter conditions / A. A. Dolgushin, A. F. Kurnosov, M. V. Vakulenko, D. A. Domnyshev // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. – 2015. – Vol. 29. – №. 7.

17 Reznik L. G. Efficiency of using cars in various operating conditions / L. G. Reznik, G. M. Romalis, S. T. Charkov. – M. : Transport, 1989. – 123 p.

18 Malomyzhev O. L., Shukhanov S. N. Construction of mathematical models for calculations of the thermal regime of transmission units // Izvestiya Orenburg State Agrarian University. – 2017. – №. 1 (63).

19 Negovora, A. V. Modern concept of thermal preparation of automotive equipment at low temperatures / A. V. Negovora, M. M. Razyapov, S. Z. Insafuddinov // Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. – 2018. – № 4(48). – Pp. 135-141– DOI 10.31563/1684-7628-2018-48-4-135-141.

© Иванников В.А., Никулин М.А., Самойленков С.С., 2021