

УДК 629.014.7

## Исследование КПД тепловой подготовки коробки передач автомобиля

*Черемнов В.А., Долгушин А.А., Воронин Д.М.*

*Новосибирский государственный аграрный университет*

### Аннотация

*В статье приведены результаты исследования эффективности тепловой подготовки коробки передач автомобиля с использованием теплового экрана. Исследованы зависимости температуры масла в коробке передач от времени прогрева, на основании которых установлены максимальная температура нагрева и время достижения теплового равновесия и целевой температуры. Получены зависимости количества поглощенной агрегатом энергии от времени прогрева. Проведен сравнительный анализ коэффициента полезного действия тепловой подготовки коробки передач по базовому и предлагаемому варианту*

**Ключевые слова:** ТЕПЛОВАЯ ПОДГОТОВКА, КОРОБКА ПЕРЕДАЧ, КПД, ТЕПЛОВОЙ ЭКРАН

---

Тепловая подготовка агрегатов является одним из важнейших этапов технической эксплуатации машин. Особую актуальность эти вопросы приобретают в регионах с суровыми климатическими условиями, характеризующимися низкими температурами окружающей среды и скоростью ветра.

Специфика использования автомобилей в сельском хозяйстве большинства регионов страны обусловлена необходимостью эксплуатации их значительный период времени года в условиях отрицательных температур окружающего воздуха. По данным [1, 2], в этот период в сельском хозяйстве может перевозиться до 46% от годового объема грузов. Отсутствие отапливаемых стоянок в хозяйствах обуславливает необходимость в тепловой подготовке двигателя, трансмиссии и других агрегатов и систем.

Черемнов В.А., Долгушин А.А., Воронин Д.М.  
 Исследование КПД тепловой подготовки коробки передач автомобиля  
 .....  
 Электронный научно-производственный журнал  
 «АгроЭкоИнфо»

Для агрегатов трансмиссии необходимость предварительного разогрева обусловлена достижением минимальной допустимой температуры трансмиссионного масла. Основным критерием определения минимальной допустимой температуры является максимальное допустимое значение динамической вязкости масла. Максимальная допустимая вязкость масла обеспечивает возможность начала движения автомобиля без риска повреждений элементов зубчатых передач и подшипников и, согласно [3, 4], должна составлять не более 150 Па·с. По данным [5], допускается увеличение максимальной допустимой вязкости трансмиссионного масла до 400...600 Па·с.

Анализ вязкостно-температурных характеристик автомобильных трансмиссионных масел показал, что предельные значения вязкости достигаются при температурах от  $-15$  до  $-35$  °С. По данным [6], время полного охлаждения коробки передач (КПП) при хранении автомобилей на открытой стоянке не превышает 5 часов. Следовательно, для достижения требуемых для начала движения значений динамической вязкости масла необходимо выполнить предварительный разогрев КПП.

В настоящее время накоплен большой опыт в области совершенствования тепловой подготовки различных агрегатов и систем машин при эксплуатации в условиях низких температур. Для осуществления предварительного разогрева агрегатов может использоваться электрическая энергия, энергия отработавших газов, энергия пара, жидкостных и воздушных теплоносителей (рис. 1).

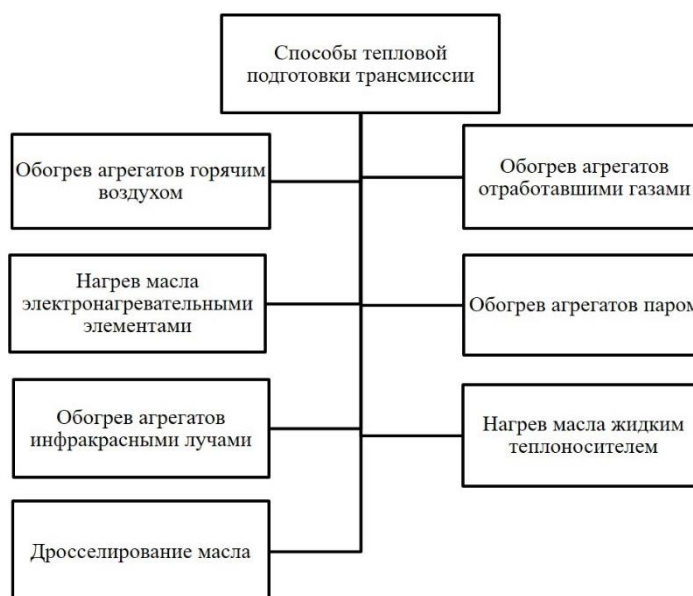


Рис. 1. Основные способы тепловой подготовки агрегатов

Черемнов В.А., Долгушин А.А., Воронин Д.М.  
Исследование КПД тепловой подготовки коробки передач автомобиля  
.....  
Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»  
=====

Анализ большого объема экспериментальных исследований, выполненных в ТИУ (ТюмНГУ), Башкирском ГАУ, Новосибирском ГАУ и других научных организациях и учебных заведениях, показал, что разработанные способы и средства тепловой подготовки позволяют в регламентируемые сроки выполнять предварительный разогрев агрегатов до требуемой температуры [7-11].

Одним из самых распространенных способов предварительного подогрева агрегатов является обдув горячим воздухом. В качестве источника тепловой энергии используются тепловые пушки различных конструкций. Основными достоинствами такого способа тепловой подготовки являются большой запас мощности тепловых пушек и возможность их применения без внесения изменений в конструкцию автомобиля. Однако, наряду с очевидными преимуществами, у такого способа подогрева имеется существенный недостаток, связанный с большими тепловыми потерями. В результате большая часть подводимой к агрегату энергии рассеивается в окружающую среду и не используется на полезную работу.

**Целью исследования** являлось повышение эффективности технологического процесса тепловой подготовки КПП автомобиля. Программа исследований включала в себя решение следующих задач:

- оценка КПД процесса тепловой подготовки КПП автомобиля с использованием внешнего источника тепла;
- обоснование необходимости применения защитного теплового экрана для КПП;
- оценка эффективности применения теплового экрана для предварительного разогрева КПП.

#### **Материал и методы исследования**

Общее количество тепловой энергии, затрачиваемой для нагрева КПП до заданной температуры, определяется следующим балансом:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{п}} + Q_{\text{ТС}}, \text{ Дж} \quad (1)$$

где:  $Q_{\text{п}}$  – тепловые потери в окружающую среду в процессе нагрева КПП, Дж;

$Q_{\text{ТС}}$  – количество теплоты, поглощенное агрегатом, Дж;

Черемнов В.А., Долгушин А.А., Воронин Д.М.  
 Исследование КПД тепловой подготовки коробки передач автомобиля  
 .....  
 Электронный научно-производственный журнал  
 «АгроЭкоИнфо»  
 =====

Анализ выражения (1) показывает, что количество теплоты, затрачиваемой на полезную работу при тепловой подготовке агрегата, определяется только величиной  $Q_{ТС}$ .

Количество энергии, поглощаемое агрегатом при нагреве, определяется из известного выражения:

$$Q_{ТС} = \bar{c}_a M_a \Delta T, \text{ Дж} \quad (2)$$

где:  $\bar{c}_a$  – удельная теплоемкость подогреваемого агрегата, Дж/(кг К);

$M_a$  – масса нагреваемого агрегата, кг;

$\Delta T$  – разница температур окружающей среды и целевой температуры масла, которую необходимо достичь в процессе тепловой подготовки, К;

Теплоемкость любого агрегата трансмиссии можно определить по выражению:

$$\bar{c}_a = \frac{\sum_{k=1}^n c_k \cdot m_k}{M_a}, \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}, \quad (3)$$

где:  $c_k$  – удельная теплоемкость  $k$ -го материала, Дж/(кг К);

$m_k$  – масса элементов агрегата, изготовленных из  $k$ -го материала, кг;

Количество теплоты, теряемое в процессе нагрева в окружающую среду, определяют по формуле:

$$Q_{П} = \alpha F \Delta T t, \text{ Дж} \quad (4)$$

где:  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Дж/(м<sup>2</sup> К ч);

$F$  – площадь поверхности КПП, участвующая в теплообмене, м<sup>2</sup>;

$t$  – продолжительность тепловой подготовки агрегата, ч;

Задаваясь мощностью внешнего источника тепла и требуемой продолжительностью нагрева, можно определить КПД способа тепловой подготовки агрегата:

$$\eta_{П} = \frac{Q_{ТС}}{N_{П} t}, \quad (5)$$

где  $N_{П}$  – мощность внешнего источника тепла, Вт;

Анализ выражения (5) показывает, что основное влияние на КПД способа тепловой

Черемнов В.А., Долгушин А.А., Воронин Д.М.  
 Исследование КПД тепловой подготовки коробки передач автомобиля  
 Электронный научно-производственный журнал  
 «АгроЭкоИнфо»

подготовки оказывает продолжительность нагрева агрегата до целевой температуры. Величина времени  $t$  определяет величину тепловых потерь во внешнюю среду  $Q_{\text{п}}$ , которые в условиях низких температур составляют значительную величину. Следовательно, повышения КПД тепловой подготовки агрегатов трансмиссии можно достичь за счет применения технических средств, снижающих интенсивность ее теплообмена с внешней средой.

Для исследования зависимостей изменения температуры КПП в процессе тепловой подготовки была создана экспериментальная установка, схема и общий вид которой представлены на рис. 2.

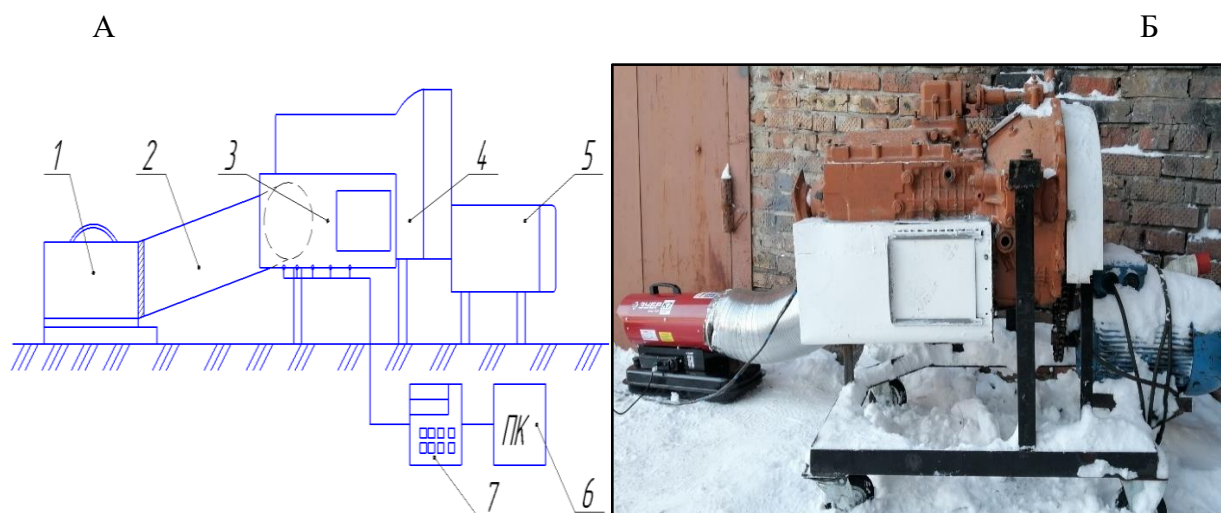


Рис. 2. Экспериментальная установка

а) схема; б) общий вид: 1 – теплогенератор; 2 – воздуховод; 3 – защитный экран; 4 – коробка передач; 5 – электрический привод; 6 – персональный компьютер; 7 – прибор для измерения температуры

Для регистрации температуры в корпус КПП устанавливались датчики температуры. В процессе эксперимента осуществлялись автоматическая регистрация температуры в контролируемых точках с интервалом 2 с и запись информации на жёсткий диск персонального компьютера. После этого осуществлялось преобразование полученной информации в необходимый формат и обработка стандартными пакетами прикладных программ. Эксперименты проводились при температуре окружающей среды минус 23<sup>0</sup>С.

### Результаты исследования

Целью экспериментальных исследований являлось исследование зависимости изме-

Черемнов В.А., Долгушин А.А., Воронин Д.М.  
 Исследование КПД тепловой подготовки коробки передач автомобиля  
 .....  
 Электронный научно-производственный журнал  
 «АгроЭкоИнфо»  
 =====

нения температуры масла в процессе тепловой подготовки для штатной КПП и КПП, оборудованной защитным экраном. Результаты исследований динамики прогрева КПП представлены на рис. 3.

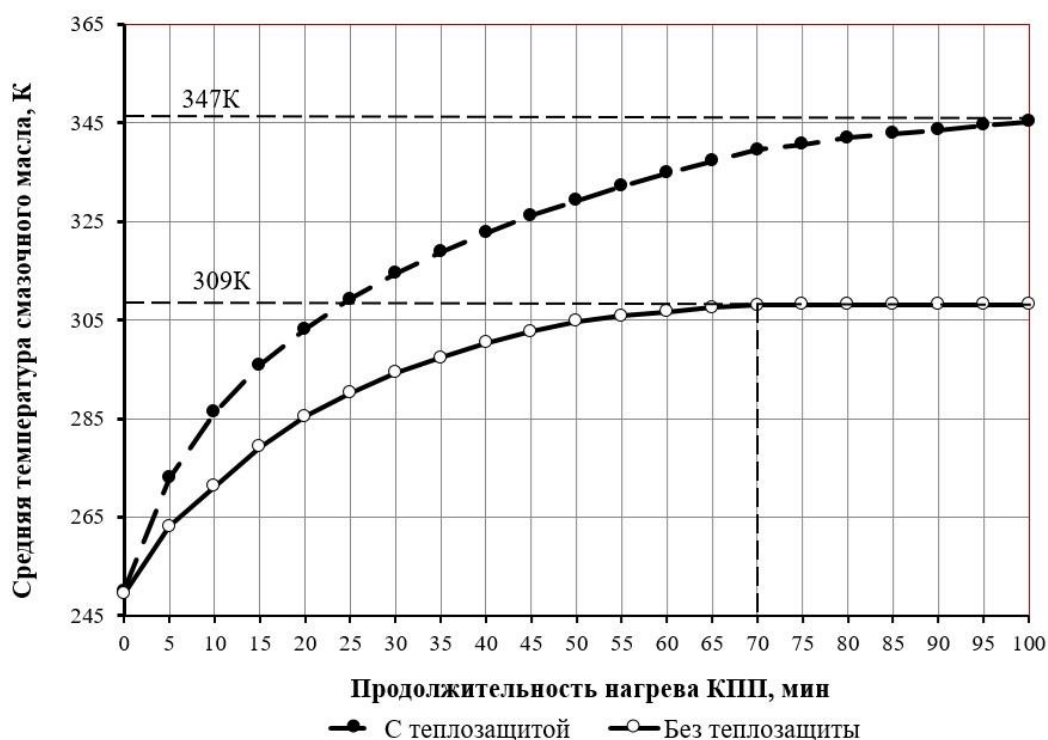


Рис. 3. Динамика изменения температуры масла в КПП при прогреве

Анализ данных графиков показывает, что установка тепловой защиты позволяет существенно увеличить динамику нагрева КПП. Так, разница температуры масла в КПП для рассматриваемых способов тепловой подготовки после пяти минут прогрева составила 10К, а к 15 минуте прогрева – уже 17К. Применение защитного экрана позволяет повысить максимальную температуру масла с 309 до 347К. Также существенно сокращается время прогрева. Так, продолжительность нагрева КПП до 309К составляет 25 минут против 70 минут для нагрева без теплозащиты. Длительный прогрев КПП приводит к стабилизации температуры масла. Продолжительность выхода КПП на этот режим составляет для случая «без теплозащиты» 70 минут, а для случая «с теплозащитой» – более 100 минут.

Стабилизация температуры масла свидетельствует о тепловом равновесии в агрегате. В этом случае вся подводимая теплота отводится во внешнюю среду посредством конвекции, теплопроводности и излучения.

На основании данных графика (рис. 3) и выражения (2) был произведен расчет количества энергии, поглощаемой КПП при прогреве для двух способов прогрева: штатный прогрев и прогрев с использованием теплового экрана. Результаты расчета  $Q_{ТС1}$  и  $Q_{ТС2}$  представлены в графической форме на рис. 4.

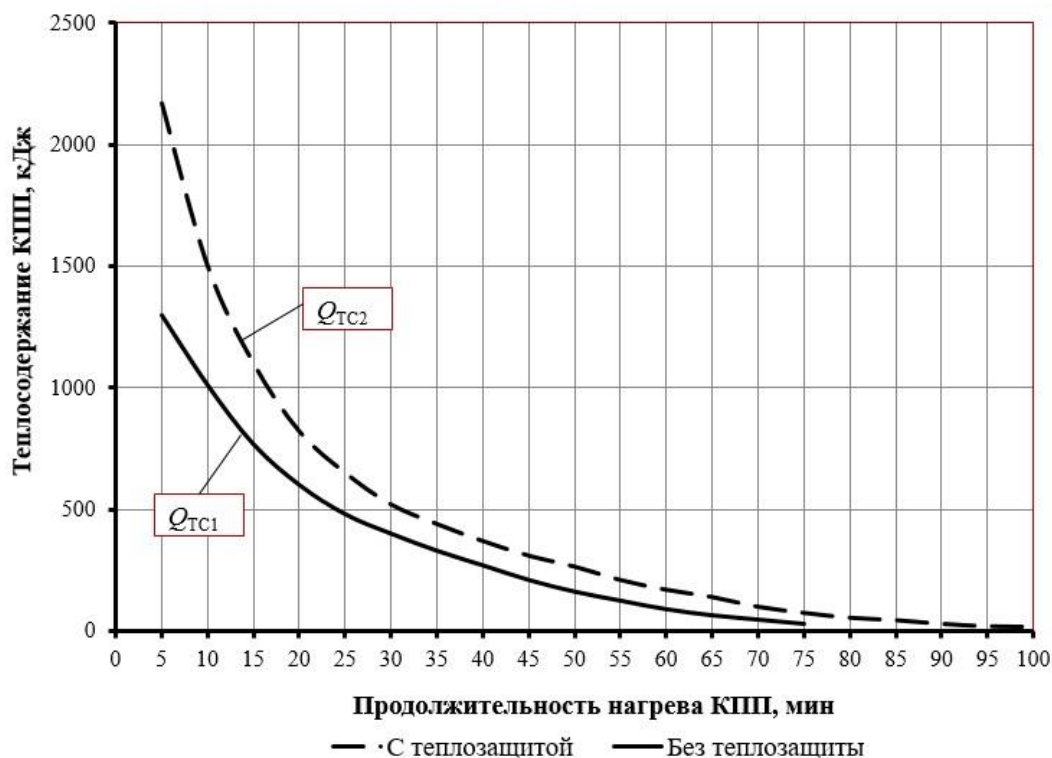


Рис. 4. Зависимость теплосодержания КПП от времени прогрева

Анализ данных графиков показывает, что поглощение агрегатом тепловой энергии на начальном этапе тепловой подготовки происходит достаточно интенсивно. Связано это с большой разницей температур нагреваемого агрегата и теплоносителя. По мере прогрева агрегата разница температур уменьшается, что приводит и к уменьшению количества поглощаемой теплоты. Применение тепловой защиты при прогреве КПП от внешнего источника теплоты позволяет интенсифицировать прогрев за счет уменьшения тепловых потерь в окружающую среду и увеличения теплоотдачи горячих газов. Конструкция теплового экрана обеспечивает максимальную площадь контакта горячих газов с поверхностью КПП и увеличивает продолжительность теплообмена. Это достигается за счет расположения входного и выходного отверстия теплового экрана на разных уровнях и противоположных сторонах. Так, например, использование разработанного теплового экрана позволило увеличить количество поглощенной тепловой энергии с 1297 до 2168 кДж в течение первых

пяти минут прогрева КПП, т.е. в 1,7 раза.

Таким образом, применение защитного экрана при тепловой подготовке агрегатов трансмиссии позволяет интенсифицировать теплообмен и, как следствие, уменьшить тепловые потери во внешнюю среду. Для оценки эффективности применения защитного экрана по выражению (5) был произведен расчет КПД рассматриваемых способов тепловой подготовки. Зависимости КПД от времени прогрева агрегата представлены на рис. 5.

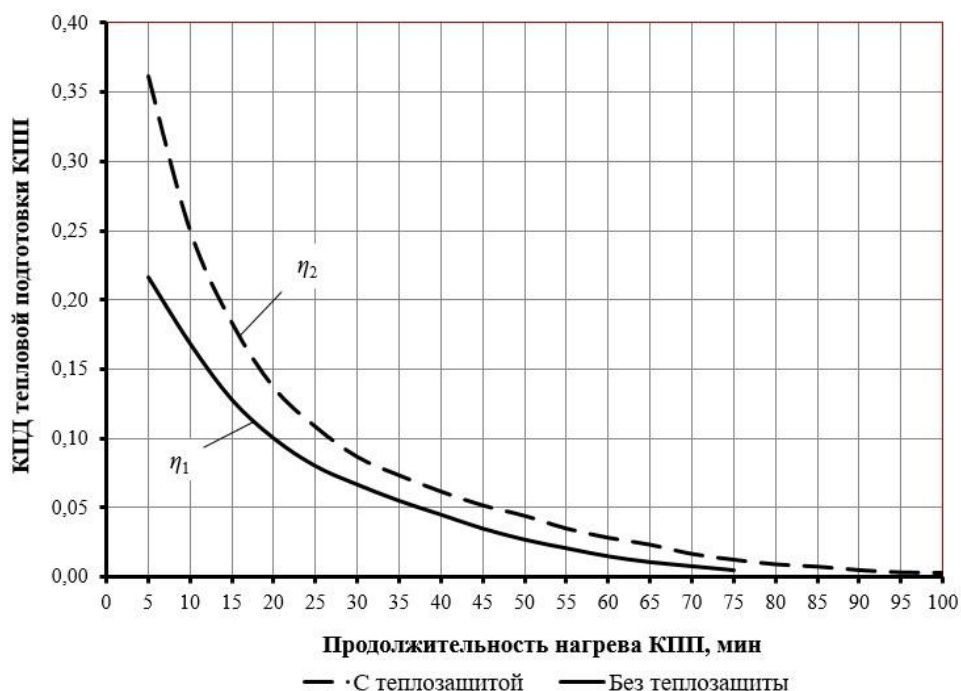


Рис. 5. Зависимость КПД тепловой подготовки КПП от времени

Анализ данных на рис. 5 показывает, что эффективность процесса теплопередачи от горячих газов к КПП без использования теплозащиты низкая. Максимальное значение КПД составляет 0,22 и постепенно снижается при увеличении температуры КПП. Использование разработанного теплового экрана позволяет существенно повысить КПД процесса теплопередачи в 1,6 раза: до 0,36.

Таким образом, применение тепловых экранов в условиях низких температур обеспечивает повышение эффективности тепловой подготовки агрегатов трансмиссии за счет снижения затрат тепловой энергии и трудоемкости работ. Кроме того, использование подобных устройств при дальнейшей эксплуатации автомобиля позволит повысить рабочую температуру агрегатов трансмиссии и снизить расход топлива.



Черемнов В.А., Долгушин А.А., Воронин Д.М.  
Исследование КПД тепловой подготовки коробки передач автомобиля  
Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

---

---

### Выводы

1. Повышение эффективности тепловой подготовки агрегатов трансмиссии можно обеспечить за счет использования тепловых экранов.
2. Применение тепловой защиты позволяет сократить время тепловой подготовки и повысить максимальную температуру нагрева. Использование разработанного теплового экрана при тепловой подготовке КПП позволило повысить максимальную температуру масла с 309 до 347К, а также сократить время нагрева в 2,8 раза.
3. За счет уменьшения тепловых потерь при прогреве и увеличения интенсивности теплообмена теплоносителя с КПП количество поглощаемой тепловой энергии увеличивается до 1,7 раз, а КПД процесса тепловой подготовки на начальном этапе прогрева увеличивается с 0,22 до 0,36.

### Список использованных источников

1. Бышов Н.В., Борычев С.Н., Успенский И.А. и др. Повышение эффективности эксплуатации автотранспорта и мобильной сельскохозяйственной техники при внутривоздушных перевозках // Научный журнал КубГАУ. – 2013, № 88 (04). – С. 519–529.
2. Долгушин А.А. Обеспечение рационального теплового режима трансмиссии автомобилей, используемых в сельском хозяйстве при низких температурах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Новосибирск. – 2020. – 39 с.
3. ГОСТ 17479.2-2015. Масла трансмиссионные. Классификация и обозначение. – М.: Стандартинформ. – 2016. – 6 с.
4. ГОСТ 23652-79. Масла трансмиссионные. Технические условия. – М.: Стандартинформ. – 2011. – 11 с.
5. Загородний Н.Г., Заскалько П.П. Рациональное применение трансмиссионных масел – резерв экономии материальных и трудовых ресурсов // Автомобильная промышленность. – 1984, № 2. – С. 3-4.
6. Баранов Д.В., Долгушин А.А., Домнышев Д.А. и др. Обоснование параметров теплоизоляции агрегатов автомобильных трансмиссий // Теория и практика современной аграрной науки: сборник трудов III Всероссийской (национальной) научной конференции с международным участием. – Новосибирск: Изд-во НГАУ. – 2020. – С. 144-147.
7. Крохта Г.М. Особенности эксплуатации тракторов в условиях низких температур: монография. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос». – 2017. – 376 с.
8. Неговора А.В., Разяпов М.М., Филипов Ю.К. Предпусковая подготовка двигателя и агрегатов трансмиссии автомобиля к принятию нагрузки // Известия Международной академии аграрного образования. – 2012, т. 1, № 14. – С. 266–270.

Черемнов В.А., Долгушин А.А., Воронин Д.М.  
Исследование КПД тепловой подготовки коробки передач автомобиля

.....  
*Электронный научно-производственный журнал*

**«АгроЭкоИнфо»**  
=====

9. Рязяпов М.М. Повышение работоспособности агрегатов трансмиссии авто-тракторной техники в условиях низких температур: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Уфа. – 2013. – 16 с.

10. Вашуркин И.О. Разработка и совершенствование систем тепловой подготовки машин при строительстве трубопроводов в условиях Севера: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Тюмень. – 2003. – 40 с.

11. Долгушин А.А., Воронин Д.М., Гуськов Ю.А. и др. Рекуперация теплоты отработавших газов двигателя автомобиля // Достижения науки и техники АПК. – 2016, т. 30, № 5. – С. 87–90.  
=====

**Цитирование:**

Черемнов В.А., Долгушин А.А., Воронин Д.М. Исследование КПД тепловой подготовки коробки передач автомобиля // АгроЭкоИнфо. – 2020, №4. – [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/4/st\\_404.pdf](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/4/st_404.pdf)