

# ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ МОТОРНЫХ МАСЕЛ В ОБЪЕДИНЕННОЙ СИСТЕМЕ СМАЗКИ «ДВИГАТЕЛЬ – КОРОБКА ПЕРЕДАЧ»



## FEATURES OF THE OPERATION OF ENGINE OILS IN A COMBINED LUBRICATION SYSTEM «ENGINE – GEARBOX»

**Г.М. КРОХТА**, д.т.н.  
**В.А. КРУМ**, к.т.н.  
**Н.А. УСАТЫХ**  
**Е.Н. ХОМЧЕНКО**, к.т.н.

Новосибирский государственный аграрный университет,  
Новосибирск, Россия, mshipo@mail.ru

**G.M. KROKHTA**, Dsc in Engineering  
**V.A. KRUM**, PhD in Engineering  
**N.A. USATYKH**  
**YE.N. KHOMCHENKO**, PhD in Engineering  
Novosibirsk State Agricultural University, Novosibirsk, Russia,  
mshipo@mail.ru

Представлены результаты исследований возможности вторичного использования части теплоты, рассеиваемой системой смазки двигателя в окружающую среду. Для повышения эффективности использования бросовой теплоты предлагается контактный способ теплообмена. Исследования показали, что этот способ, несмотря на эффективность процессов тепло- и массообмена, простоту устройств для его реализации, не всегда может быть применим.

При контактном способе происходит непосредственное смешение двух теплоносителей – горячего и холодного, в результате чего более чем в три раза снижается кратность циркуляции, что способствует снижению жесткости условий работы масла в системе «двигатель – коробка передач». Горячим теплоносителем в данном случае является моторное масло работающего двигателя, а холодным – масло той же марки, находящееся в коробке передач трактора.

Физико-химический анализ проб масел, взятых в процессе эксплуатационных испытаний тракторов, показал, что при продлении срока службы масла в объединенной системе смазки основные показатели не выходят за предельные состояния. Следует отметить незначительное превышение содержания механических примесей относительно их количества в коробке передач серийного трактора, что намного меньше предельного значения.

**Ключевые слова:** двигатель, коробка передач, объединенная система смазки, вязкость, зольность, щелочное число, механические примеси.

**Для цитирования:** Крохта Г.М., Крум В.А., Усатых Н.А., Хомченко Е.Н. Особенности работы моторных масел в объединенной системе смазки «двигатель – коробка передач» // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 1. С. 57–63. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-1-57-63.

The paper presents the results of studies on the possibility of recycling part of the heat dissipated by the engine lubrication system into the environment. To increase the efficiency of using waste heat, a contact method of heat exchange is proposed. Studies showed that this method, despite the efficiency of heat and mass transfer processes, the simplicity of devices for its implementation can not always be applicable.

With the contact method, there is a direct mixing of two coolants: hot and cold, as a result of which the circulation rate is reduced by more than three times. This contributes to a decrease in the severity of the oil operating conditions in the “engine – gearbox” system. The hot coolant in this case is the engine oil of the running engine, and the cold one is the same oil located in the tractor gearbox.

Physicochemical analysis of oil samples taken during operational tests of tractors showed that when extending the service life of the oil in the integrated lubrication system, the main indicators do not go beyond the limit states. It should be noted a slight excess of the content of mechanical impurities relative to their amount in the gearbox of a serial tractor, which is much less than the limiting value.

**Keywords:** engine, gearbox, combined lubrication system, viscosity, ash content, base number, mechanical impurities.

**Cite as:** Krokhta G.M., Krum V.A., Usatykh N.A., Khomchenko YE.N. Features of the operation of engine oils in a combined lubrication system “engine – gearbox”. Traktory i sel'khoz mashiny. 2021. No 1, pp. 57–63 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-1-57-63.

## Введение

Агропромышленный комплекс (АПК) является одним из основных потребителей нефтепродуктов, в том числе моторных масел [1]. Моторные масла более сложные по составу и имеют сравнительно высокую стоимость по сравнению с другими марками.

Многие марки тракторов оснащены механическими коробками передач (КП) с гидropоджимными муфтами, которые имеют более высокий КПД по сравнению с другими типами передач и способны переключаться без разрыва потока мощности, в том числе в автоматическом режиме. Для смазки этих КП заводы-изготовители рекомендуют использовать моторные масла той же группы, что залито в двигатель. Количество масла, залитого в картер КП, в ряде случаев значительно больше, чем в двигателе. Например, у трактора Т-150К заправочная емкость КП составляет 38 л моторного масла, а двигателя – 20 л, у трактора К-744 соответственно – 23 и 32 л [2, 3].

Следует отметить, что при работе моторного масла в качестве трансмиссионного ряд его основных свойств не используются. С другой стороны, чем меньше количество марок масел, используемых в условиях АПК, тем ниже эксплуатационные затраты и выше надежность машин. В настоящее время существуют единые (моторно-трансмиссионно-гидравлические) масла. По ряду причин эти масла в народном хозяйстве используют крайне редко.

Кроме того, большим недостатком существующих систем смазки КП является отсутствие терморегулирующих устройств, которые обеспечивали бы поддержание теплового режима КП на заданном оптимальном уровне [4]. С целью устранения таких недостатков были разработаны, запатентованы и изготовлены два устройства [5, 6]. Сущность первого устройства заключается в том, что теплообмен осуществляется контактным способом (смешением горячего масла двигателя с маслом КП), а второго – поверхностным (через рекуперативный теплообменник, размещенный в верхней части поддона двигателя и омываемый горячим моторным маслом). Каждый из указанных способов имеет свои преимущества и недостатки.

## Цель исследований

Обосновать возможность использования моторного масла в качестве «единого» в объ-

единенной системе смазки «двигатель – КП», а также обосновать изменение периодичности замены масла в КП.

## Материалы и методы

Эксплуатационные испытания проводились на двух новых тракторах марки Т-150К Харьковского тракторного завода: один был в серийном исполнении, а второй – опытный, с объединенной системой смазки. В настоящее время выпускаются аналогичные тракторы российского производства под маркой БТЗ-246К Брянского тракторного завода. Тракторы прошли обкатку, работали в течение одного и того же времени, выполняя одни и те же операции.

Испытанию подвергалось устройство, реализующее контактный способ теплообмена. Этот способ наиболее прост и эффективен, а самое главное, позволяет использовать ресурс моторного масла, залитого в объединенную систему смазки, по назначению. В объединенную систему опытного, а также в КП и двигатель серийного тракторов заливалось масло марки М-10Г<sub>2</sub> (ГОСТ 8581–78). Основные показатели моторного масла М-10Г<sub>2</sub>, предусмотренные ГОСТ 12337–84, представлены в таблице.

В этой же таблице приведены показатели свежего масла, подлежащего испытанию, а также их предельные значения.

В объединенной системе более чем в три раза уменьшилась кратность циркуляции масла, по сравнению с системой смазки серийного трактора, что способствует снижению интенсивности его старения. Поскольку условия работы масел в КП и двигателе значительно отличаются друг от друга, то и требования, предъявляемые к маслам, в ряде случаев диаметрально противоположны. Например, моторное масло работает в зоне высоких температур, что способствует образованию лаковых пленок и нагаров, которые разрушаясь, увеличивают количество абразивных частиц, вызывая интенсификацию износа трущихся поверхностей. Для предотвращения этого в моторные масла вводят большое количество моюще-диспергирующих присадок. В трансмиссиях масла не подвергаются воздействию высоких температур, что исключает их окисление и образование лаковых пленок и нагаров. Поэтому моюще-диспергирующие присадки (металлосодержащие) не только не нужны, но и в какой-то степени вредны для трансмиссионных

**Показатели моторного масла М-10Г<sub>2</sub>**  
*Table. Indicators of the engine oil M-10G<sub>2</sub>*

№ п/п	Показатели	ГОСТ 12337-84	Свежее масло	Предельное состояние
1	Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с, при 100 °С	11,0±0,5	10,5	Увеличение до 40 % Снижение до 30 %
2	Зольность сульфатная, % (мас. доля), не более	1,65	1,36	1,4
3	Щелочное число, мг КОН/г	6,0	5,75	3,0
4	Массовая доля мех. примесей, %, не более	0,015	0,011	3,0
5	Температура вспышки в открытом тигле, °С, не выше	205	205	Снижение на 20 °С
6	Массовая доля воды, %, не выше	следы	следы	0,3

масел, так как увеличивают содержание абразивных частиц. В то же время в трансмиссиях имеют место высокие контактные напряжения, достигающие 3000 МПа и более, которые способны разрушить масляную пленку на поверхностях трения. С целью исключения разрушения пленки в масло вводят большое количество противозадирных и противоизносных присадок. В свою очередь, моторные масла в таком количестве таких присадок не нуждаются.

Отбор проб отработанного масла из тракторов проводился через 60 мото-ч в соответствии с ГОСТ 2517–78. Замена масла в двигателе осуществлялась, согласно инструкции завода-изготовителя, через каждые 240 мото-ч, а в КП – через 960 мото-ч. В тракторе с объединенной системой смазки смена масла производилась через 960 мото-ч. Следует уточнить, что у серийного трактора масло отбиралось отдельно из двигателя и отдельно из КП, а у опытного трактора (с объединенной системой смазки) – только из двигателя. Анализ взятых проб проводился в сертифицированной лаборатории Алтайского моторного завода.

### Результаты и обсуждение

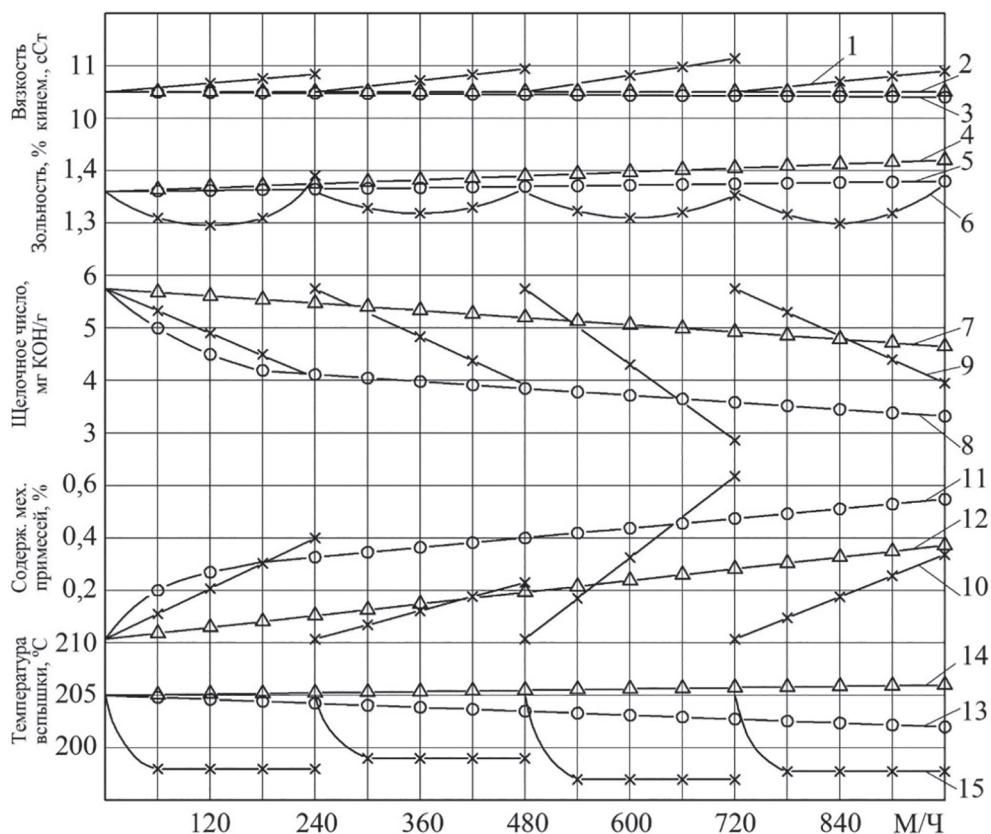
На рисунке представлены зависимости основных показателей качества масла, таких как вязкость кинематическая, зольность, щелочное число, содержание механических примесей, температура вспышки, массовая доля воды, содержание кремния от наработки двигателя в мото-ч. Показатели определены в соответствии с требованиями ГОСТа. Из рисунка видно, что у трактора с объединенной системой все показатели масла по мере наработки снижаются менее интенсивно по сравнению

с серийным. Рассмотрим каждый показатель отдельно и более подробно.

Вязкость (ГОСТ 33–82) – один из важнейших показателей, характеризующий пригодность масла к применению в тех или иных агрегатах тракторов. Для обеспечения образования оптимального смазочного слоя между поверхностями трения с целью исключения их непосредственного контакта необходимо масло определенной вязкости. Вполне вероятно, что масляная пленка на поверхности трения с высокой вязкостью будет обладать большой несущей способностью. Но увеличение вязкости ведет к повышению потерь мощности на трение и снижению КПД. Поэтому вязкость должна быть достаточной для создания жидкостного трения. Этот режим считается самым оптимальным.

Кинематическая вязкость масла в системе смазки двигателя серийного трактора при работе в течение первого цикла (240 мото-ч) возросла с 10,50 (свежее масло) до 10,84 сСт, второго – до 10,94, третьего – до 11,14 сСт и четвертого – до 10,98 сСт. Максимальное увеличение вязкости произошло в третьем цикле и составило 6,1 %. В КП серийного трактора в течение 960 мото-ч работы изменение вязкости масла практически не наблюдалось. Вместе с тем, для трактора с объединенной системой смазки при увеличении времени работы без замены масла до 960 мото-ч кинематическая вязкость повысилась незначительно: от 10,50 сСт до 10,64 сСт – или увеличение составило 1,3 %, что далеко от предельных значений.

Повышение кинематической вязкости отработанного масла в двигателе серийного трактора по сравнению с вязкостью масла, взятого из объединенной системы, объясня-



**Рис. Зависимость от времени работы основных показателей моторного масла, работающего в КП и двигателе серийного трактора и в объединенной системе «двигатель – КП» опытного трактора:**  
 1, 2, 3 – кинематическая вязкость, сСт при 100 °С; 4, 5, 6 – зольность, %; 7, 8, 9 – щелочное число, мг КОН/г; 10, 11, 12 – содержание механических примесей, %; 13, 14, 15 – температура вспышки, °С;  
 —△—△— — КП серийного трактора; —×—×— — ДВС серийного трактора; —○—○— — опытный трактор

*Fig. Dependence of the main indicators of the oil, operating in the gearbox and tractor stock engine, and in the combined “engine – gearbox” system of the prototype one on the operating time: 1, 2, 3 – kinematic viscosity, cSt at 100 °C; 4, 5, 6 – ash content, %; 7, 8, 9 – base number, mg KOH /g; 10, 11, 12 – the content of mechanical impurities, %; 13, 14, 15 – flash point, °C; —△—△— — gearbox of a production tractor; —×—×— — ICE of a production tractor; —○—○— — prototype tractor*

ется более интенсивным испарением легких фракций и быстрым накоплением продуктов окисления углеводородов. Следует отметить, что скорости испарения и окисления находятся в тесной зависимости от объема масла в системе (в объединенной системе его почти в три раза больше).

Зольность (ГОСТ 12417–94) – продукт сгорания нефтепродуктов. Зольность принято делить на растворимую и нерастворимую. Известно, что качество масел определяется концентрацией присадок. Для оценки их количества используется показатель – сульфатная зольность (растворимая). Сульфатная зольность – это остаток, который получается при сжигании пробы масла в тигле, в результате чего образуется сухой углистый продукт, который затем обрабатывается серной

кислотой и прокаливается до температуры 775 °С с целью перевода металлосодержащих присадок в сульфаты.

В свежем масле находятся в основном присадки в растворенном состоянии и незначительное количество механических примесей. Количество механических примесей для свежего масла регламентируется стандартом на уровне 0,015 %, что составляет менее 1,0 % от предельного значения сульфатной зольности (1,65 %), и не отражается на количественной оценке величины активной части присадок.

Во время работы двигателя в масле накапливаются нерастворимые вещества (механические примеси), продукты износа, высокотемпературной деструкции масла, загрязнений, поступающих с воздухом (кремний, калий



и др.). Механические примеси в работающем масле представляют собой взвешенные частицы, чаще всего органического и реже – минерального происхождения.

Следовательно, общая зольность моторного масла представляет сумму растворимой (сульфатной) и нерастворимой зольности. Первая характеризует количество присадок (качество моторного масла), а вторая – глубину окисления (процесс старения) масла.

Начальная зольность свежего масла, используемого в системах смазки двигателя и КП, а также в объединенной системе трактора составила 1,36 %. Наиболее заметно снижение зольности происходит в системе смазки двигателя в первые 120–130 часов его работы. Это объясняется интенсивным срабатыванием присадок (моюще-диспергирующих, антиокислительных, антикоррозионных и др.), препятствующих нагарообразованию, накоплению нерастворимых веществ (смола, лакоотложения), которые появляются в результате образования высокоуглеродистых отложений. Далее, по мере срабатывания металлосодержащих присадок и накопления нерастворимых примесей, поступающих из внешней среды, а также продуктов износа деталей двигателя зольность возрастает. В результате этого масло насыщается абразивными частицами, что способствует интенсификации износов трущихся поверхностей.

В КП серийного трактора по истечении 960 мото-ч зольность повысилась на 0,06 %. Столь незначительное повышение зольности масла в КП можно объяснить незначительным накоплением только продуктов износа деталей КП и отсутствием высоких температур как следствие, окислительных процессов.

В объединенной системе смазки «двигатель – КП» зольность масла по истечении 960 мото-ч работы изменилась в меньшей степени по сравнению с маслом в двигателе серийного трактора, который отработал 240 мото-ч. Незначительное изменение зольности в сторону увеличения на 0,04 % в системе «двигатель – КП», объясняется снижением кратности циркуляции масла, более стабильным температурным режимом масла, что способствует снижению его загрязненности углеводородными отложениями, образующимися под воздействием высоких температур, и накоплению механических примесей, которые не улавливаются фильтрующими элементами. Предель-

ным значением зольности считается величина не более 1,65 %. В нашем случае максимального значения (1,38 %) зольность достигает в двигателе серийного трактора в конце второго цикла, но находится в пределах допуска (табл. 1).

Щелочное число (ГОСТ 11362) характеризует моюще-диспергирующие свойства моторных масел. Для моторных масел эти свойства являются важнейшими; суть их заключается в том, что с помощью присадок маслам придают способность предотвращать образование лаковых пленок и нагаров, а также разрушать образовавшиеся частицы, которые затем отфильтровываются фильтрующими элементами.

Из рисунка 1 видно, что по мере увеличения наработки щелочное число масла для тракторов в серийном и опытном исполнении снижается с разной интенсивностью. Наиболее существенное снижение щелочного числа с 5,75 до 4,1 мг КОН/г наблюдается в объединенной системе смазки «двигатель – КП» в течение первых после замены масла 120–130 мото-ч работы трактора. Это объясняется тем, что в свежем масле находится большое количество активных присадок, которые интенсифицируют окислительные процессы малостабильных углеводородов во всем объеме масла в течение первых десятков мото-ч работы трактора. Далее процесс окисления стабилизируется (заканчивается полимеризация малостабильных углеводородов) и окисление происходит только в доливаемом объеме масла.

В КП серийного трактора по истечении 960 мото-ч было зафиксировано снижение щелочного числа от 5,75 до 4,65 мг КОН/г, что составило 19,2 %. Незначительное снижение щелочного числа в КП серийного трактора в течение довольно длительного промежутка времени можно объяснить увеличенным объемом масла в КП по сравнению с двигателем в два раза и отсутствием кислых сред для нейтрализации которых и предназначены моющие присадки.

Щелочное число масла в двигателе серийного трактора к концу первых двух циклов снизилось с 5,46 до 3,8 мг КОН/г. К концу третьего цикла щелочное число достигло минимального значения – 2,8 мг КОН/г. Предельное значение щелочного числа, которое регламентируется соответствующими документами, не должно быть менее 1,2 мг КОН/г.

К механическим примесям относятся содержащиеся в маслах, в основном, минеральные вещества. По стандарту, содержание механических примесей в моторных маслах не должно быть более 0,015 %. (Содержание механических примесей определялось по ГОСТ 6370–83.)

Наиболее опасны для трущихся поверхностей такие механические примеси в маслах как глина, песок, продукты износа и другие твердые частицы, вызывающие абразивный износ.

Содержание механических примесей в масле двигателя серийного трактора возрастает к концу первого цикла с 0,015 до 0,4 %. Во втором цикле содержание механических примесей не превышает 0,22 %, а в третьем достигает максимального значения 0,63 %. Следует обратить внимание на то, что количество механических примесей от цикла к циклу в разы отличается друг от друга. Анализируя характер изменений щелочного числа и содержание механических примесей в масле, двигателя от времени его работы (рис.) нельзя не заметить между ними корреляционную зависимость. Характер зависимостей щелочного числа и механических примесей в течение третьего цикла можно объяснить работой тракторов в особо запыленных условиях (основная и предпосевная обработка почвы и посев). В то же время величина механических примесей соответствует требованиям ГОСТ 12337–84 (табл.).

Показатель температуры вспышки необходим для оценки качества нефтепродукта и классификации помещений и сооружений, предназначенных для работы с нефтепродуктами, по степени пожарной безопасности. Температуру вспышки можно определять на приборах двух разного типов – с открытым (ГОСТ 4333) и закрытым тиглем. В данном случае применялся прибор с открытым тиглем. Следует помнить, что в результате использования открытого тигля температура вспышки всегда на 20–25 °С выше по сравнению с закрытым.

Отклонение температуры вспышки в ту или иную сторону относительно стандартного значения нежелательно. Повышение температуры вспышки свидетельствует о том, что происходит испарение легких фракций нефтепродуктов, сопровождающееся повышением вязкости. В то же время снижение температуры вспышки указывает на возможность проникновения в картер двигателя или другого агрегата легких фракций топлива. Выход температуры вспышки за предельные значения

(табл.) может привести к аварийной остановке машины.

Температура вспышки масла в КП серийного трактора, который отработал 960 мото-ч, незначительно снижается: от 205 до 202 °С (рис.). И наоборот, температура вспышки масла в объединенной системе немного, но повышается до 206 °С в течение первых 240 мото-ч, а затем остается на прежнем уровне до его замены. В двигателе серийного трактора во всех циклах происходит однообразное падение температуры вспышки до 198 °С в течение первых 60 мото-ч работы после замены масла. Снижение температуры вспышки масла по сравнению с начальной очевидно происходит вследствие попадания в масло топлива (топливный насос, форсунки, прогрев холодного двигателя), а ее стабилизация – результат наступившего равновесия между разжижением масла топливом и испарением легко кипящих фракций масла, в том числе и топлива. Таким образом, температура вспышки масла довольно стабильна и на протяжении всего периода работы тракторов находится в допустимых пределах (табл.)

Несмотря на то что содержание воды в свежих маслах по ГОСТ 2477–65 не допускается, в процессе работы масло в двигателе и КП может обводняться. Вода вымывает присадки, способствует образованию в маслах водных эмульсий, кислот и вызывает отложения во внутренних полостях рыхлых и клейких остатков, которые могут вывести из строя систему смазки машины.

Вода в маслах в основном может присутствовать в растворенном состоянии в незначительном количестве, что обычно составляет тысячные доли процента. Содержание воды может возрастать при нарушении правил транспортирования, хранения и заправке машин нефтепродуктами.

Присутствие воды в маслах усиливает коррозию металлов, снижает его смазывающие свойства и приводит к вспениванию и уменьшает содержание присадки за счет ее разложения и осаждения.

Результаты исследований показали только наличие следов воды, за исключением КП серийного трактора. В КП серийного трактора при наработке более 420 мото-ч было зафиксировано содержание воды в масле на уровне 0,18 % в конце третьего цикла. Далее при наработке 480 мото-ч содержание воды снизилось до 0,06 %. Следующий отбор проб масла

из КП показал наличие только следов воды. Логически объяснить факт появления воды в пробах, а затем ее исчезновение довольно сложно, да в этом нет большой необходимости, тем более что содержание воды в масле не превышает величину предельного состояния (0,3 %), а самое главное, что он не имеет отношения к испытываемому трактору.

Таким образом, проведенные исследования зависимостей зольности, содержания механических примесей и изменения их количества в объединенной системе «двигатель – КП» опытного трактора и отдельно в КП и двигателе серийного трактора в течение 960 мото-ч показали, что наименьшее количество механических примесей, способствующие износу деталей, выделяет КП. Наибольшее количество абразивных частиц приходится на двигатель. Резкий рост механических примесей в конце каждого цикла, что характерно для двигателя серийного трактора, сглаживается, а затем стабилизируется на уровне 0,5–0,6 %, что далеко от предельного значения.

Представленные в настоящей статье материалы экспериментальных исследований и их анализ подтверждают работоспособность объединенной системы смазки «двигатель – КП» в течение 960 мото-ч без замены масла, при этом его показатели не выходят за предельные значения ГОСТ 12337–84.

### Заключение

1. Анализ литературных и экспериментальных исследований, выполненных ранее, показал, что применение объединенной системы смазки «двигатель – КП» позволяет вторично использовать часть теплоты двигателя, которая безвозвратно уходит в окружающую среду, для разогрева КП.

2. Эксплуатационные испытания двух тракторов: серийного и опытного показали, что применение объединенной системы смазки «двигатель – КП» позволяет экономить до 60 л моторного масла в течение 960 мото-ч его работы по сравнению с серийным трактором. Экономия достигается за счет того, что система смазки «двигатель – КП» позволяет полностью использовать весь ресурс масла как моторного. При этом основные показатели масла не выходят за предельные значения.

3. Очевидно, что следует ожидать снижения расхода топлива за счет вторичного использования теплоты работающего двига-

теля, которая может рассеиваться в окружающую среду.

4. Объединенная система смазки позволяет снизить трудозатраты на техническое обслуживание (затраты времени на проверку уровня масла только в двигателе и его долив). В КП уровень масла устанавливается автоматически, проверка уровня и долив не требуются.

### Литература

1. Organization of the Petroleum Exporting Countries World Oil Outlook OPEC Secretariat, October 2020, 311 p.
2. Руководство по эксплуатации 150.00.000-25 РЭ.
3. Инструкция по эксплуатации 744Р-0000010 ИЭ.
4. Крохта Г.М., Иванников А.Б., Пронин Е.А. Вторичное использование бросовой теплоты двигателя для оптимизации тепловых режимов в агрегатах самоходных машин // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4.
5. Крохта Г.М., Госман А.И., Абдула С.Л. Система смазки: патент на изобретение № 1427944 Российская Федерация (непубликуемое).
6. Крохта Г.М., Иванников А.Б. Система автоматического поддержания оптимальных температур рабочих жидкостей и масел в агрегатах и узлах самоходных машин: патент на изобретение № 2500899 Российская Федерация; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 34.

### References

1. Organization of the Petroleum Exporting Countries World Oil Outlook OPEC Secretariat, October 2020, 311 p.
2. Rukovodstvo po ekspluatatsii 150.00.000-25 R-E.
3. Instruksiya po ekspluatatsii 744R-0000010 IE.
4. Krokhta G.M., Ivannikov A.B., Pronin YE.A. Recycling waste heat of the engine to optimize thermal conditions in the units of self-propelled vehicles. Traktory i sel'khoz mashiny. 2015. No 4 (In Russ.).
5. Krokhta G.M., Gosman A.I., Abdula S.L. Sistema smazki [Lubrication system]: patent na izobreteniyе No 1427944 Rossiyskaya Federatsiya (nepublikuyemoye).
6. Krokhta G.M., Ivannikov A.B. Sistema avtomaticheskogo podderzhaniya optimal'nykh temperatur rabochikh zhidkostey i masel v agregatakh i uzлах samokhodnykh mashin [System for automatic maintenance of optimum temperatures of working fluids and oils in units and assemblies of self-propelled vehicles]: patent na izobreteniyе No 2500899 Rossiyskaya Federatsiya; opubl. 10.12.2013, Byul. No 34.