

**А. В. Дунаев<sup>1</sup>, В. Е. Тарасенко<sup>2</sup>, А. А. Жешко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Федеральный научный агроинженерный центр «ВИМ»  
г. Москва, Российская Федерация*

<sup>2</sup>*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь*

<sup>3</sup>*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **БЕСПРИБОРНЫЕ ПРИЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

*Аннотация.* Приведен перечень актуальных органолептических приемов оценки состояния ДВС авто-тракторной техники, которые наряду с современными средствами диагностирования позволяют достаточно эффективно определять техническое состояние машин, не прибегая к использованию дорогостоящего оборудования и существенно снижая трудоемкость осуществления диагностирования.

*Ключевые слова:* органолептика, масло, контроль, цвет, дымность, угар масла, износ.

**A. V. Dunaev<sup>1</sup>, V. E. Tarasenko<sup>2</sup>, A. A. Zheshko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Federal Scientific Agroengineering Center "VIM"  
Moscow, Russian Federation*

<sup>2</sup>*EI "Belarusian State Agrarian Technical University"  
Minsk, Republic of Belarus*

<sup>3</sup>*RUE "SPC NAS of Belarus on Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus*

## **NON-SELECTIVE TECHNIQUES FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF AUTOMOTIVE ENGINES**

*Abstract.* The list of actual organoleptic techniques for assessing the state of the internal combustion engine of tractor equipment is given, which, along with modern means of diagnostics, make it possible to determine the technical condition of machines quite effectively, without resorting to the use of expensive equipment and significantly reducing the complexity of diagnostics.

*Keywords:* organoleptics, oil, control, color, smokiness, oil fumes, wear.

### **Введение**

В настоящее время существует проблема преемственности в передаче знаний, при этом особое значение имеют обобщение и систематизация накопленного ранее опыта в области органолептических методов контроля технического состояния машин. Органолептические методы основаны на анализе информации, воспринимаемой органами чувств (зрения, обоняния, осязания, слуха, вкуса) без применения технических измерительных или регистрационных средств. Эта информация не может быть представлена в численном выражении, она основывается на ощущениях, генерируемых органами чувств мастера-диагноста. Решение относительно объекта контроля принимается по результатам анализа чувственных восприятий [1]. Точность метода зависит от квалификации, опыта и способностей специалистов, проводящих диагностирование. При органолептическом контроле могут использоваться технические средства, повышающие разрешающие способности или восприимчивость органов чувств (лупа, микроскоп, слуховая трубка и т. п.), не являющиеся измерительными.

## Основная часть

Современная автотракторная техника оснащается системами управления, с помощью которых снимается информация по электрическим диагностическим сигналам, контактными и бесконтактными датчикам. Осуществляется контроль расхода топлива и других показателей машин, в том числе через спутниковые системы связи. Имеются такие частные решения и по сельскохозяйственным тракторам, для выполнения агротехнических работ разрабатываются интеллектуальные системы точного управления [2]. В ближайшем будущем управление автотракторной техникой будет еще более глубоким.

Вместе с тем в настоящее время в эксплуатации у сельхозпредприятий имеется достаточно большое количество автотракторной техники, к примеру, тракторов «Беларус-82.1», «Беларус-1221» и др., где нет диагностических средств и в целом единого универсального диагностического модуля. Флагман отечественного тракторостроения – ОАО «Минский тракторный завод» по-прежнему осуществляет массовый выпуск тракторов данных тяговых классов, для которых наиболее приемлемыми остаются бесприборные приемы контроля технического состояния и определения необходимых работ своевременного технического обслуживания (ТО) и ремонта.

В связи с отсутствием на местах необходимого диагностического оборудования и квалифицированных кадров, удорожанием запчастей и ТСМ остаются значимыми работы по обслуживанию техники сверх стандартного и расширение обобщенного контроля ее состояния органолептикой самими владельцами машин, что может быть подкреплено и приборным контролем.

Многолетняя практика использования органолептики накопила богатый опыт. Поэтому начинающие диагносты пользовались всеми доступными приборами, а опытные – обходились минимумом [2]. Известный в свое время мастер-диагност Г. И. Лехан из Нововоронцовской райсельхозтехники Херсонской области на Всесоюзном семинаре по диагностике в Тартуском филиале ЦОКТЬ ГОСНИТИ в 1983 г. заявил: «Настоящим диагностом является тот, кто без приборов быстро находит неисправности и помогает быстро их устранять». А проверка перед семинаром использования 33 диагностических средств ГОСНИТИ в Эстонии, Ленинградской и Псковской областях, проведенная Тартускими специалистами, показала, что местные диагносты, опробовав все приборы, применяют лишь промышленный электротестер Ц-4324, гидротестер Лаборатории № 17 ГОСНИТИ и расходомер картерных газов КИ-13671-ГОСНИТИ от Лаборатории № 24. Ниже приведен их опыт по своевременному выявлению неисправностей дизелей, предотвращению их интенсивного изнашивания и отказов.

*Внешний осмотр, слушивание, оценка срока службы машины и квалификации оператора* могут дать первую характеристику дизеля, вторую даст эмоциональная оценка оператором значений мощности и расхода ТСМ. Затем целесообразно провести контроль показателей моторного масла, которое проверяют на:

– *цвет, прозрачность, расслоение, взвеси*. Свежее масло прозрачно, сине-зеленого или светло-коричневого цвета, а долго работавшее коричневого, серого или черного цвета. Последний не является браковочным, он свидетельствует о моющих свойствах и является следствием насыщения масла отмытыми загрязнениями и частицами сажи неполного сгорания топлива. Если масло белесое, мутное, – оно обводнено и полностью испорчено. Чрезмерно вязкое масло, оставляющее на фильтровальной бумаге густое черное пятно с отблеском или не расплывающуюся каплю – брак; если оно расслаивается, когда верх обманчиво прозрачен и золотист, а низ мутен, содержит взвеси, осадок, шлам, то масло также следует отнести к браку, а агрегат с такими маслами может быть в аварийном состоянии;

– *металлические частицы*, извлекаемые сильным магнитом, блестки металла в срезе осадка в реактивной масляной центрифуге, на поверхностях бумажных маслофильтров, на дне картеров;

– *абразивные механические примеси*. При истирании масла с абразивными частицами между стеклянными пластинками или из закаленной стали слышен скрип, а на пластинах образуются риски;

– *вязкость*. О ней можно судить по скорости стекания масла с масломерного шупа, истиранию масла пальцами, но это выявляет только очень разжиженное масло. Для достоверного контро-

ля можно использовать длинную стеклянную трубку с шариком из подшипника. Разница между внутренним диаметром трубки и диаметром шарика может быть 0,3–1,0 мм. Вязкость оценивают сравнением времени падения шарика в эталонном и проверяемом масле. Возможно также контролировать время подъема пузырька воздуха при переворачивании трубки; известны и самоделки из наклонных пластин, в каналах которых сравнивают время стекания масел. Кроме стандартизованного контроля вискозиметрами в термостатах имеются и простые промышленные средства;

– *обводненность*: по паровыделению и каплепадению из сапуна, по запотеванию его крышки, крышки маслозаливной горловины, внутренности клапанной крышки. Если нанести каплю масла на запястье руки в теплом помещении, то по вытеканию микроструек по бороздкам кожи выявляют воду. В стационаре возможно: капнуть каплю масла на разогретую электроплитку с закрытой спиралью, или поджечь промасленный фитиль, или опустить нагретое жало паяльника в масло. При контакте с электроплиткой капля масла «взрывается», от нагретого жала паяльника вода в масле зашипит, пламя горящего обводненного масла потрескивает; возможен нагрев пробы масла до температуры вспышки его паров (85–220 °С), когда обводненное масло или потрескивает, или пузырится со взрывами, или бурлит;

– *моюще-диспергирующую способность* по «капельной пробе», как интегральную проверку, позволяющую за полчаса проверить рабочие показатели масла, предупредить запоздалую его смену. При этом каплю горячего или теплого масла наносят на квадрат (50×50 мм) лабораторной фильтровальной бумаги и выдерживают 15–20 мин в тепле. При этом можно использовать офисную бумагу, белый ситец. Главная суть «капельной пробы» – в динамике масляного пятна по мере работы масла, а импортные шаблоны масляных пятен по однократному тесту – ложные. На рис. 1 показаны типичные масляные пятна [3, 4]:

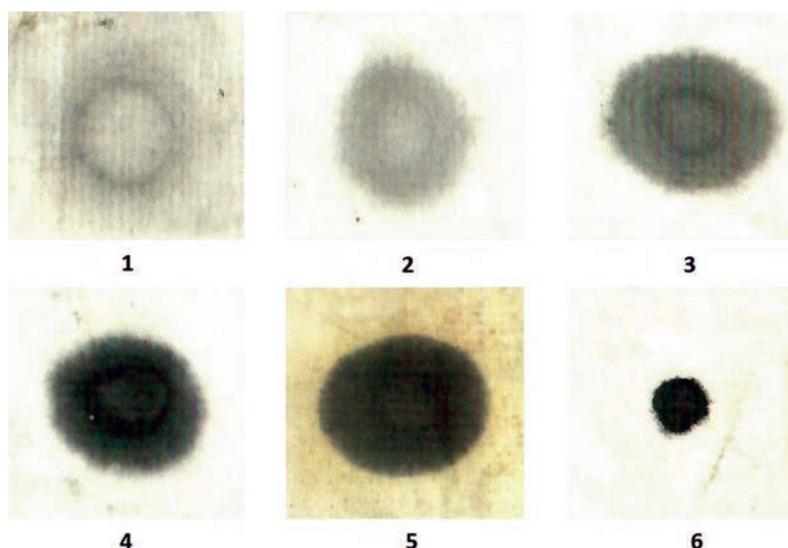


Рис. 1. Примеры капельных проб малощелочного и среднещелочного моторного масла типа М-10Г2К, масел классов качества СС, CD, CF-4, CG-4 и выше

*Пятно № 1.* Почти свежее масло, поработало не более 50 час; не загрязнено, расплывается на наибольший размер, дает равномерно окрашенное светло-серое пятно со светлой наружной окаемкой чистого масла.

*Пятно № 2.* То же, не более 100 часов. Видны: центральное ядро диаметром капли до его растекания; кольцо, окаймляющее ядро с самыми крупными механическими примесями, дающее дополнительную информацию о загрязнении масла; далее от центра – широкое кольцо зоны мелких примесей масла; и крайнее кольцо почти чистого масла. Это – эталон «капельной пробы» с большим запасом качества масла.

*Пятно № 3.* Грязное, много поработавшее масло, но имеющее небольшой ресурс. Ежедневный контроль может предупредить резкое ухудшение состояния масла и мотора.

*Пятно № 4.* Масло заметно загрязнено и потеряло моюще-диспергирующие свойства; если ДВС работает при больших нагрузках, то масло подлежит замене.

*Пятно № 5.* Оно может иметь желтый цвет от пережога ДВС. Масло подверглось чрезмерному окислению с образованием смол.

*Пятно № 6.* Масло взято из аварийного ДВС. Нужно устранить неисправности, протечку воды, промыть двигатель, залить качественное масло.

По наработке диаметр пятна масла уменьшается из-за потери моюще-диспергирующих свойств и укрупнения мехпримесей. По мере порчи масла капельная проба из светло-серой превращается в темно-черную и неуклонно уменьшается в диаметре. Если капля не растекается вообще, представляя собой шлам грязи и воды, то это признак аварийного или предаварийного состояния ДВС.

Важно взять пробу масла щупом не из верхнего, не характерного слоя масла, а донного, в котором может быть вода. Контроль донной и средней долей масла существенно уточнит её состояние, хотя не послужит для арбитражной оценки.

Мировая практика показала, что капельная проба в любых условиях позволяет быстро и эффективно контролировать масло, а по нему и состояние ДВС, предотвращать его интенсивное изнашивание и аварии без какого-либо оборудования. «Капельная проба» введена в руководства по эксплуатации транспортных, судовых и тракторных дизелей, а фирма Shell, ее разработчик, метод компьютеризировала с измерением оптической плотности масла.

В завершение контроля на прогревом ДВС при малом давлении в системе смазки следует проверить его величину механическим манометром, установив минимальную частоту вращения коленчатого вала, т. к. это самый опасный для ДВС режим.

В предаварийном состоянии ДВС возможен осторожный виброакустический контроль. Он требует навыков, памяти на «партитуру» нормальных и ненормальных звуков, стуков и вибрации, умения настраиваться на шумы высокого и низкого тона, сплошные, прерывистые, импульсные от КШМ, ГРМ, форсунок. Удобен медицинский фонендоскоп, защищающий уши от низкочастотного гула выхлопа и позволяющий выявлять слабые стуки низкого и высокого тона. У фонендоскопа удаляют мембранную капсулу, заглушают трубку пробкой, прижимают трубку к местам контроля с разным усилием, что позволяет различать глухие и звонкие стуки.

Предварительный анализ интенсивности, характера и условий проявления стуков по времени и режимам работы ДВС по данным оператора с анализом других проверок необходим перед углубленной проверкой стуков на повышенной частоте вращения коленвала для избежания аварии ДВС при диагностировании.

Аварийные стуки в ДВС редки и обусловлены только нарушением правил эксплуатации ДВС или чрезмерной изношенностью КШМ. Они прослушиваются простейшим стетоскопом и на слух в зоне коренных подшипников при средних и малых частотах вращения коленчатого вала. Стуки в ЦПГ трудно различимы. Резко выделяются звонкие стуки ГРМ, частые и высокого тона. Они прослушиваются издали и на любой частоте вращения коленчатого вала. У мощных низкооборотных дизелей стуки ГРМ сопоставимы с так называемыми «форсуночными» стуками, которые можно выделить отключением топливоподачи в форсунки.

Контроль ЦПГ можно выполнять различными методами [2, 3, 5]:

– по дымности отработавших газов (ОГ). Начинающееся интенсивное изнашивание ЦПГ, сопровождающееся повышенным расходом моторного масла на угар, т. е. его повышенным сгоранием в ЦПГ, проявляется бело-голубым, а при большом износе ЦПГ даже синим цветом ОГ. В ОГ возможны туман и капли масла, что проверяется отпечатком на бумаге или на ладони руки у обреза выпускной трубы. На отпечатке возможны и частицы сажи неполного сгорания топлива.

Черный цвет дыма говорит о неполном сгорании топлива из-за его избытка или недостатка воздуха (засорены воздушные фильтры и/или снижено давление наддува) и к износу ЦПГ отношения не имеет. Аналогично при плохом распыле топлива форсунками его часть в цилиндрах не загорается, и это окрашивает ОГ в беловатый цвет. Имеет место и белый «холодный дым» непрогретых дизелей. При неисправностях ГРМ с дымом у безнаддувных дизелей возможны искры, треск и грохот с ОГ;

– по расходу масла на угар. Суммируют объемы доливок масла в ДВС по мере снижения его уровня, с подсчетом расхода топлива за квартал при небольшом угаре или чаще – при большом. Метод ничего не требует, но очень информативен (рис. 2).

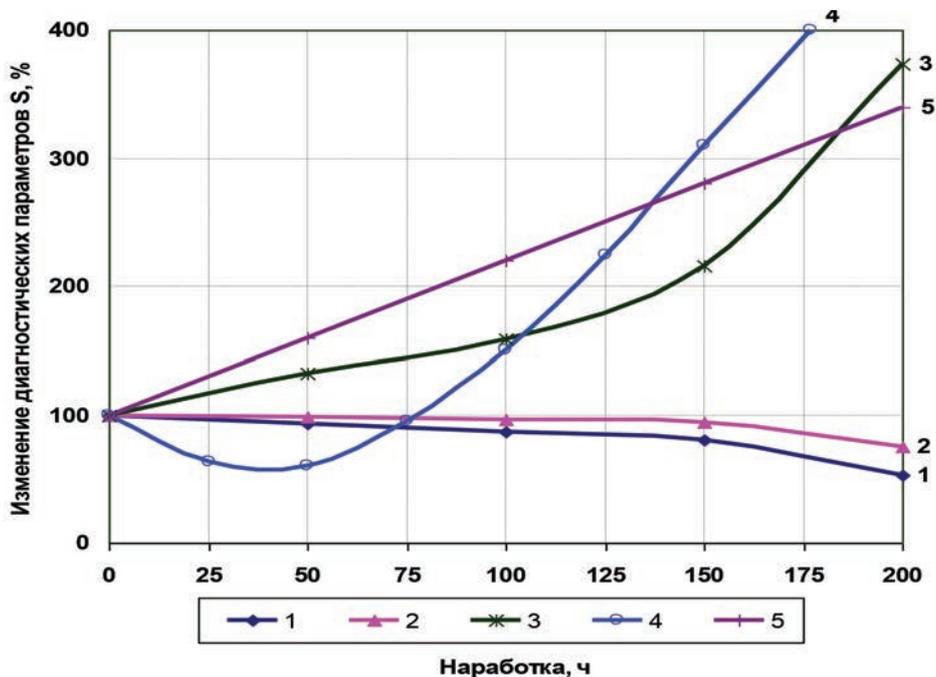


Рис. 2. Классическое изменение диагностических параметров ЦПГ по наработке ДВС: 1 – компрессия; 2 – разрежение; 3 – прорыв газов в картере; 4 – угар масла; 5 – утечка сжатого воздуха при положении поршня в ВМТ

Суммируя расход масла на долив, исключают явные протечки, видимые на деталях ДВС, унос масла с картерными газами системой вентиляции, потери с парами масла и брызгами из сапуна, осадок масла в поддоне воздухоочистителя, другие грубые протечки, а особенно расход через ГРМ при неисправных маслоотражательных колпачках. При чрезмерном износе ЦПГ возможен прямой унос масла с ОГ, что указано выше. Однако могут быть случаи повышения уровня масла в картере из-за попадания в него топлива (протечки из системы питания в картер, проникновение из камеры сгорания несгоревшего топлива).

Контроль угара масла обобщенно оценивает износ компрессионных и маслосъемных колец всех поршней. Его полезно сочетать с контролем давления газов в картере U-образно смонтированной прозрачной трубкой с водой, присоединяемой к картерному пространству, или с контролем расхода газов, прорывающихся из камер сгорания в картер ДВС, но это требует наличия хотя бы простейшего индикатора расхода газов КИ-13799-ГОСНИТИ. Если угар масла и прорыв газов не противоречивы и выше допустимых – нужна замена колец. При исправных маслоотражательных колпачках и отсутствии протечек достаточен контроль угара масла.

Ранее пределами угара масла до плановой переборки ДВС были 3,5–5 % от расхода топлива, для современных автотракторных дизелей это 2,5–3 %, у импортных дизелей – 2,5 % при номинальном значении угара 0–0,05 %. У тракторных двигателей Detroit International DTA 530E расход масла на угар составляет 0,2 % от расхода топлива, у двигателей Deutz BF6M1013FC – 0,3–0,75 %. Приведенные нормативы относятся именно к угару масла в ЦПГ при исправном состоянии систем питания (отсутствие разжижения масла несгоревшим топливом), воздухоподачи (без отсоса масляного тумана при загрязненных воздухоочистителях), без потерь масла в ТКР и воздушном компрессоре.

Дизель устойчиво работает с угаром масла до 10 % и в крайнем случае предел угара масла можно определить по отношению затрат на его долив за сезон к затратам на замену поршневых колец или на полную замену ЦПГ.

*Визуальный контроль давления или расхода картерных газов* может выявить только повышенный износ ЦПГ, когда значителен выход газов из сапуна и они выносят даже брызги масла. Более точен контроль по скорости нарастания давления газов в картере, но при герметизации картерного пространства.

На рис. 2 показано изменение параметров состояния не аварийной ЦПГ [3]. При этом менее показательные компрессия и разрежение в цилиндрах, определяемые на неработающих ДВС, уменьшаются только на 15–50 %, а более информативные, определяемые на работающих ДВС, увеличиваются в 3–5 и более раз, как, например, угар масла и расход картерных газов. Кривая 4 на рис. 2 показывает уменьшение угара масла в начале эксплуатации, что соответствует приработке ДВС, поэтому более полувека этот параметр считается очень достоверным.

Высокая информативность расхода масла на угар позволяет, хотя и обобщенно, оценивать состояние ЦПГ и предотвращать работу ДВС в предаварийном режиме. Сопоставляя фактический угар масла с допустимыми (ремонт не требуется) и предельными (ремонт требуется) нормами, можно планировать дизелю сроки и виды ремонтно-обслуживающих воздействий.

Другой обобщенный метод оценки состояния ЦПГ – по времени прокрутки ДВС для пуска. На форсунках оценивают внешний вид (чистые и сухие, без замасливания, нагара и кокса, без ржавчины в штуцере форсунки), можно заглянуть в цилиндры или проверить шупом чистоту поршня, отсутствие на нем масла, а в крайних случаях воды или дизельного топлива.

На бензиновых ДВС оценивали работу цилиндров по снижению частоты вращения коленвала при отключении их зажигания. Но для современных автотракторных дизелей с большим моментом инерции коленчатого вала и маховика, со всережимным регулятором ТНВД отключение топливоподдачи в один-два цилиндра ощутимого снижения частоты вращения коленвала не дает.

Таким образом, имеется арсенал приемов органолептического контроля состояния ДВС, который позволяет предотвращать неправильную их эксплуатацию, повышенное изнашивание и аварии без применения средств диагностики.

Однако диагностирование по обычным параметрам не подкреплено определением степени и причин повышенного изнашивания узлов трения, что несложно выявлять различно, в т. ч. приборами марки ФЧМ-П.

Износы деталей в нормальных условиях эксплуатации невелики: в прецизионных парах топливной аппаратуры это микроны, в гидроприводах, ЦПГ и КШМ ДВС – сотые доли мм, в узлах силовых передач – десятые доли мм, и только во внешних узлах миллиметры. Но именно они на 80 % обуславливают снижение работоспособности и отказы агрегатов машин. Поэтому выявление степени и причин повышенного и аварийного изнашивания является первостепенной задачей диагностирования МТП, чтобы уменьшать его отказы и продлевать эксплуатационный ресурс. Со временем будет возможна широкая проверка содержания стальных частиц износа в маслах датчиком на основе планарной катушки Тесла [6].

Высокая чувствительность спектрального анализа, в т. ч. несложными приборами ФЧМ-П позволяет контролировать даже начальные износы поршневых колец, подшипников КШМ и др. Но эти приборы не выявляют кремний загрязнений – главного агента абразивного изнашивания. Поэтому актуальна проверка абразивов в масле, например, истиранием ее капли между стеклянными пластинами [2, 3, 7, 8]. При этом опасный абразив со скрипом оставляет на пластинах царапины.

Загрязнение масел абразивами обусловлено загрязнением машин, протечками масел через неплотности агрегатов: при нагреве агрегатов из них идут протечки, а при охлаждении всасываются загрязнения. А для аварийного изнашивания ДВС с 15 л масла достаточно попадания 0,1 см<sup>3</sup> пыли, грязи.

Изнашивания можно контролировать с помощью неодимовых магнитиков (3, 4, 5 мм диаметром и 4, 5, 8 и 12,5 мм длины) с большой силой сцепления. Взвесив их на лабораторных весах с погрешностью не более 10 мг, опустив на проволоке магнит через маслозаливную горловину или вместо масломерного шупа на 100 с в масло работающего на холостом ходу ДВС, промыв магнит с частицами от масла в бензине/дизтопливе, высушив и повторно взвесив, можно экспертно выявлять интенсивность изнашивания ДВС.

Давно оценивают изношенность ДВС по анализу среза осадков в РМЦ, где могут быть видны блестящие частицы металлов [2, 8].

### Заключение

Таким образом, бесприборные приемы контроля технического состояния автотракторных двигателей являются эффективным комплексом мер определения технического состояния машин и в настоящее время. При этом обобщенный бесприборный контроль состояния машин может сочетаться с приборным контролем и данными бортовых систем контроля.

### Список использованных источников

1. Ассоциация ЕАМ. Субъективные (органолептические) методы технического диагностирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eam.su/subektivnye-organolepticheskie-metody-technicheskogo-diagnostirovaniya.html>. – Дата доступа: 01.11.2023.
2. Дунаев, А. В. Диагностирование двигателей внутреннего сгорания и планирование их ремонта на основании качественных признаков технического состояния / А. В. Дунаев, М. Н. Костомахин // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2021. – № 2. – С. 41–46.
3. Управление надежностью сельскохозяйственной техники методами диагностики и триботехники / В. П. Миклуш [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2019. – 392 с.
4. Безразборные технологии увеличения эксплуатационного ресурса автотракторной техники / В. В. Ладиков [и др.]. – Москва : ВИССО, 2004. – 52 с.
5. Дунаев, А. В. Диагностирование двигателей внутреннего сгорания и планирование их ремонта на основании качественных признаков технического состояния / А. В. Дунаев // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 112, ч. 1. – С. 172–177.
6. Способ оперативного контроля качества трансмиссионного масла : пат. RU 2758746 / И. С. Филатов, Н. В. Воронин, Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин, Г. В. Рыбин, А. Е. Ломовских. – Оpubл. 01.11.2021.
7. Ананьин, А. Д. Диагностика и техническое обслуживание машин. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Академия, 2015. – 416 с.
8. Дунаев, А. В. Выявление неисправностей двигателей внутреннего сгорания / А. В. Дунаев // Сельский механизатор. – 2013. – № 10. – С. 38–41.