

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 621.899

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_2_18

Проблемы защиты двигателей зерноуборочных комбайнов от износа и коррозии

Валерий Васильевич Остриков^{1✉}, Владимир Константинович Нагдаев²,
Михаил Владимирович Вигдорович^{3,4}, Дмитрий Николаевич Афоничев⁵,
Алла Владимировна Забродская⁶, Дмитрий Николаевич Жерновников⁷

^{1, 2, 3, 6, 7}Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия

⁴Angara GmbH, Дюссельдорф, Германия

⁵Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

¹viitinlab8@bk.ru✉

Аннотация. Более 10 месяцев в году, находясь в нерабочем состоянии, основные детали двигателей комбайнов подвергаются воздействию перепада температур, что вызывает разложение и коррозию материала и снижает срок службы. Одной из важных задач является защита двигателя внутреннего сгорания от коррозионного воздействия и износа. Предназначенные для использования в период хранения рабоче-консервационные и консервационные масла в сельскохозяйственных предприятиях практически не применяются. По факту после завершения уборочных работ комбайны устанавливаются на открытых площадках, при этом слив отработанного масла не проводится. Отсутствие мер по защите гильз цилиндров от коррозии и последующего износа снижает срок службы машин и увеличивает затраты на их эксплуатацию. В результате теоретической оценки динамики срабатывания присадок в двигателях внутреннего сгорания, в том числе и антикоррозионных, установлено, что таким образом определить остаточное содержание антикоррозионных присадок к моменту постановки комбайна на длительное хранение весьма проблематично. Получено уравнение срабатывания присадки с учетом угара масла и его долива, что позволяет интерпретировать уравнение, определяющее степень функциональности масла по противокоррозионной защите. В результате экспериментальных исследований и наблюдений получены данные фактического состояния моторного масла перед постановкой комбайна на хранение. Определено, что в процессе простоя комбайна интенсивно изменяется кислотное число масла. В результате лабораторных испытаний установлено, что на защитные антикоррозионные свойства могут значительно влиять вязкость масла и его загрязненность смолами. Сравнительный анализ свойств масел М-10ДМ и К-17 показал превосходство последнего по защитным свойствам от коррозии и износа. По результатам исследований сделан вывод о возможности создания ресурсосберегающего состава высококачественного рабоче-консервационного масла.

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, двигатель внутреннего сгорания, коррозия, износ, защита, рабоче-консервационное масло, свойства, технология

Для цитирования: Остриков В.В., Нагдаев В.К., Вигдорович М.В., Афоничев Д.Н., Забродская А.В., Жерновников Д.Н. Проблемы защиты двигателей зерноуборочных комбайнов от износа и коррозии // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 2(73). С. 18–27. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_2_18–27.

TECHNOLOGIES AND MEANS OF MAINTENANCE IN AGRICULTURE (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

Challenges encountered in relation to combine harvester engines protection against wear and corrosion

Valery V. Ostrikov^{1✉}, Vladimir K. Nagdaev², Mikhail V. Vigdorovich^{3,4}, Dmitry N. Afonichev⁵,
Alla V. Zabrodskaya⁶, Dmitry N. Zhernovnikov⁷

^{1, 2, 3, 6, 7}All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia

⁴Angara GmbH, Dusseldorf, Germany

⁵Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

¹viitinlab8@bk.ru✉

Abstract. For more than 10 months a year, while in non-working condition, the main parts of combine harvesters engines are exposed to temperature differences, which causes decomposition and corrosion of the material and reduces the service life. One of the important tasks is to protect the internal combustion engine from corrosion

and wear. Intended for use during the storage period, working-preserving and preserving oils are practically not used in agricultural enterprises. In fact, after the completion of the harvesting work, the combines are installed on an open area, while the draining of the worked oils is not carried out. The lack of measures to protect cylinder liners from corrosion and subsequent wear reduces the service life of machines and increases the cost of their operation. As a result of a theoretical assessment of the dynamics of the activation of additives in internal combustion engines, including anticorrosive ones, it was found that theoretically it is very problematic to determine the residual content of anticorrosive additives by the time the combine is put into long-term storage. The equation of the additive actuation is obtained taking into account the oil burn and its topping, which allows interpreting the equation determining the degree of oil functionality for anticorrosive protection. As a result of experimental studies and observations, data on the actual condition of the engine oil before placing the combine for storage were obtained. It was determined that the acid number of the oil changes intensively during the idle time of the combine. It was found that the protective anticorrosive properties can be significantly affected by the viscosity of the oil and its contamination with resins. A comparative analysis of the properties of M-10DM and K-17 oils showed the superiority of the latter in terms of protective properties against corrosion and wear. According to the results of the research, a conclusion was made about the possibility of creating a resource-saving composition of high-quality working-preserving oil.

Keywords: combine harvester, internal combustion engine, corrosion, wear, protection, working and preserving oils, properties, technology

For citation: Ostrikov V.V., Nagdaev V.K., Vigdorovich M.V., Afonichev D.N., Zabrodskaia A.V., Zhernovnikov D.N. Challenges encountered in relation to combine harvester engines protection against wear and corrosion. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022;15(2):18-27. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_2_18-27.

В ведение

Сельскохозяйственное производство имеет ярко выраженный сезонный характер [2, 7]. Основная часть работ, связанных с эксплуатацией техники, приходится на весенне-осенний период. Тракторы и комбайны от двух до девяти месяцев выполняют различного рода операции, связанные с предпосевной обработкой почвы, уборкой культур и последующей послеуборочной обработкой. От двух до десяти месяцев различная сельскохозяйственная техника может находиться в нерабочем состоянии в местах хранения [2, 7]. И если наружные поверхности деталей сельскохозяйственных машин подвергаются защищающим от коррозии воздействиям, то двигатели внутреннего сгорания в реальных условиях эксплуатации остаются практически незащищенными, что приводит к образованию следов коррозии на деталях цилиндро-поршневой группы и топливной аппаратуры [1]. Одними из наиболее проблемных деталей в этом отношении являются гильзы цилиндров двигателей внутреннего сгорания зерноуборочных комбайнов. По заявлениям разработчиков, современные моторные масла обладают достаточно высокими антикоррозионными свойствами и способны защитить зеркало гильзы цилиндра от коррозионных процессов на весь период межсезонного хранения техники [9]. В реальных условиях эксплуатации, например при постановке на хранение зерноуборочных комбайнов, отработавшее уборочный период моторное масло чаще всего не сливают и не заменяют на свежее. Отработанное моторное масло имеет определенный запас эксплуатационных свойств, однако содержит значительное количество продуктов окисления и загрязнений [3]. Такое масло на момент постановки комбайна на хранение не способно обеспечить защитный антикоррозионный эффект на стенках гильз цилиндров, а присутствующие в масле продукты окисления могут спровоцировать образование очагов поражений на зеркале гильзы цилиндра [10, 12]. В конечном итоге это приводит к образованию раковин и к необходимости замены гильзы и деталей поршневой группы.

Теоретические аспекты оценки срабатывания присадок

Проведем анализ остаточного содержания и эффективности работы присадок в масле, в том числе и антикоррозионных. В работе [3] была рассмотрена аппроксимация с использованием простой экспоненциальной функции

$$C = C_0 \exp(-kt), \quad (1)$$

где C – концентрация присадки в масле;

C_0 – концентрация присадки в свежем масле $C(t=0) = C_0$;

k – показатель срабатывания-распада (процессы, приводящие к деградации) присадки;

t – время.

Зависимость (1) постулировалась исследователями и использовалась для интерполяции экспериментальных данных. Если она верна, то имеет место следующий дифференциальный закон срабатывания-распада присадки:

$$-\frac{dC}{dt} = kC. \quad (2)$$

Вместе с тем, деградация присадки может описываться и нелинейным законом f . Рассмотрим его в более общем виде:

$$-\frac{dC}{dt} = f(k, C). \quad (3)$$

С этой точки зрения уравнение (2) является отражением уравнения (3) лишь в том смысле, что представляет собой некоторый приближенный закон, мы можем разложить функцию f по формуле Маклорена вблизи $C = 0$ (k и C присутствуют исключительно в виде их комбинации, представляющей собой произведение kC)

$$f(kC) \approx f(0) + kC \frac{df(kC)}{d(kC)}_{C=0} + 0,5(kC)^2 \frac{df^2(kC)}{d(kC)^2}_{C=0}. \quad (4)$$

Приблизительное равенство в уравнении (4) означает, что отбракованы члены разложения. Очевидно, что $f(0) = 0$, так как иначе срабатывание-распад присадки слабо зависели бы от ее концентрации. Таким образом, уравнение (4) будет иметь вид

$$f(kC) \approx kC \frac{df(kC)}{d(kC)}_{C=0} + 0,5(kC)^2 \frac{df^2(kC)}{d(kC)^2}_{C=0}. \quad (5)$$

Подставляя уравнение (5) в уравнение деградации присадки (3), получаем:

$$-\frac{dC}{dt} = kC \frac{df(kC)}{d(kC)}_{C=0} + 0,5(kC)^2 \frac{df^2(kC)}{d(kC)^2}_{C=0}. \quad (6)$$

Сопоставим уравнение (6) и уравнение (2), результат которого использовался независимо для экспоненциальной интерполяции экспериментальных данных в работе [3]. Авторы интерполяции предполагали, что учет лишь одного ненулевого члена разложения в уравнении (6) будет достаточен. Обсудим корректность такого подхода. В целом концентрация присадки в масле действительно невелика. Однако она значительно меняется в ходе эксплуатации в периодах между обслуживанием, и неучет второго слагаемого в уравнении (6) более обоснован при приближении к очередному обслуживанию, когда значительная часть присадки деградировала. Непосредственно после обслуживания, связанного с доливом масла, отклонение от уравнения (1) будет более существенным, так как концентрация присадки выше, и поэтому ее деградация будет происходить по более сложному закону, нежели по простому экспоненциальному.

В уравнении (6) переопределим коэффициент k , а также введем следующие обозначения:

$$k = k \frac{df(kC)}{d(kC)}_{C=0}; \quad \alpha = 0,5 \frac{df^2(kC)}{d(kC)^2}_{C=0}.$$

Проинтегрируем уравнение (6) и получим:

$$C = \frac{C_0 \exp(-kt)}{1 - \alpha k C_0 \exp(-kt)}. \quad (7)$$

Рассмотрим уравнение (7). При малых α вычитаемым в знаменателе можно пренебречь, и оно переходит в уравнение (1). То, что α мало и обеспечивает необходимую малость второго слагаемого перед первым в уравнениях (5) и (6), следует из самой сути разложения Маклорена, но при этом необходимо иметь в виду, что концентрация C не должна быть слишком большой, иначе она подавит малость параметра α , и разложение утратит корректность.

После выполнения интерполяции по уравнению (7) и определения коэффициента α сравним статистические коэффициенты детерминации R^2 для такой интерполяции и интерполяции, выполненной в работе [3]. Анализ величины $\alpha k C_0 \exp(-kt)$ по сравнению с уравнением (1) покажет существенность поправки, поскольку уравнение (7) можно представить в виде

$$C = C_0 \exp(-kt) [1 + \alpha k C_0 \exp(-kt)]. \quad (8)$$

К вопросу защиты от коррозии внутренних деталей двигателя (в частности поверхностей гильз цилиндров) это имеет следующее отношение: уравнения (7) и (8) позволяют с большей точностью оценивать деградацию присадки, а следовательно, защитную эффективность масляной пленки на поверхности деталей. Кроме того, в случае возможного долива масла в период эксплуатации концентрация присадки повышается.

Ранее в рамках более простой модели (1) мы решили задачу о срабатывании присадки в масле с угаром и доливом [11]. Ее результатами можно воспользоваться с учетом сказанного выше. При непрерывной деградации присадки, угаре масла и дискретном доливов масла концентрация присадки описывается уравнением

$$C(t) = C_0 \exp(-kt) \exp \left[\int_0^t \frac{\sum_{m=1}^n V_m \delta(\xi - t_m) - v}{\sum_{m=1}^n V_m \theta(\xi - t_m) - v\xi + G_0} d\xi \right], \quad (9)$$

где V_m – объем долива масла с присадкой в моменты времени t_m ($m = 1, 2, \dots, n$);

$\delta(\xi - t_m)$ – дельта-функция;

ξ – время в интервале от 0 до t ;

v – скорость угара масла (уменьшение объема в единицу времени);

$\theta(\xi - t_m)$ – функция Хевисайда;

G_0 – объем масла в системе смазки двигателя, восстанавливаемый при каждом доливов или при полной замене масла.

Очевидно, долив масла не может происходить, если нет угара ($v = 0$), так как превышение объема масла в системе смазки сверх предусмотренного руководством по эксплуатации, недопустимо. Однако с учетом фактического технического состояния парка сельскохозяйственной техники, а именно – его износа, качества используемых топлив и масел, режимов эксплуатации и нагрузок, всегда присутствует угар ($v > 0$). Фактическая концентрация противокоррозионной присадки, рассчитанная по выражению (9), с учетом угара и произведенных доливов позволяет получить уравнение, определяющее степень функциональности $F(t)$ масла в смысле противокоррозионной защиты в момент времени t :

$$F(t) = \frac{C_0 - C(t)}{C_0} = 1 - \exp(-kt) \exp \left[\int_0^t \frac{\sum_{m=1}^n V_m \delta(\xi - t_m) - v}{\sum_{m=1}^n V_m \theta(\xi - t_m) - v\xi + G_0} d\xi \right]. \quad (10)$$

Для установления регламента долива масла при известной в отношении конкретных единиц используемой техники (комбайнов) величине угара v значения степени функциональности $F(t)$ масла могут быть табулированы по выражению (10).

Результаты и их обсуждение

В соответствии с имеющей место фактической проблемой поставлена задача повышения защитных свойств работавших в двигателе моторных масел и приведения их по составу и свойствам к рабоче-консервационным маслам с целью минимизации затрат на смазочные материалы и продления сроков службы машин до ремонта. Одним из важнейших факторов, влияющих на способность смазочного масла обеспечивать антикоррозионные свойства, как указано выше, является присутствие в масле присадок, способных создавать защитную пленку, удерживающуюся на поверхности гильзы цилиндра весь период межсезонного хранения [4, 8]. К важным характеристикам масла для обеспечения защитных свойств относятся кинематическая вязкость и кислотное число масла. На предварительном этапе исследований проводился анализ показателей качества моторного масла перед постановкой зерноуборочных комбайнов Дон-1500 и Полесье на межсезонное хранение. Срок службы комбайнов составлял от пяти до десяти лет. Эксплуатационные характеристики и техническое состояние двигателей не определялись.

В таблице 1 представлены результаты анализа моторного масла. Нарботка у комбайнов за сезон эксплуатации находилась в диапазоне 150...180 часов. Во всех комбайнах использовалось моторное масло М-10ДМ.

Таблица 1. Результаты физико-химического анализа моторного масла из двигателей зерноуборочных комбайнов перед постановкой на хранение

Характеристики моторного масла	Зерноуборочный комбайн				
	Дон-1500	Дон-1500	Дон-1500	Полесье	Полесье
Номер опыта	1	2	3	1	2
Вязкость кинематическая при 100 °С, мм ² /с	12,1	11,8	12,2	12,1	12,3
Щелочное число, мг КОН/г	3,8	3,6	3,3	4,0	4,6
Кислотное число, мг КОН/г	1,8	1,9	2,8	2,1	2,4
Температура вспышки, °С	210	200	205	208	212
Содержание нерастворимого осадка, %	0,85	0,91	0,90	0,55	0,61
Содержание воды, %	Нет	Следы	Нет	Нет	Нет

Анализируя данные таблицы 1, следует отметить, что отработавшее моторное масло сохранило к моменту постановки техники на хранение определенный запас эксплуатационных свойств. То есть масло относительно пригодно для дальнейшего использования с ограничениями по сроку службы до замены. Содержание нерастворимого осадка (смола, асфальтенов и др.) свидетельствует о достаточно высокой степени загрязненности масла, которая в некоторых случаях приближается к браковочным значениям. При постановке техники на хранение слив, замена моторного масла не проводились. Время хранения техники до подготовки комбайнов к уборочным работам составило от 280 до 300 дней. Характеристики масел после хранения на открытой площадке представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты физико-химического анализа моторного масла к окончанию периода хранения

Характеристики моторного масла	Зерноуборочный комбайн				
	Дон-1500	Дон-1500	Дон-1500	Полесье	Полесье
Номер опыта	1	2	3	1	2
Вязкость кинематическая при 100 °С, мм ² /с	12,0	11,6	12,1	12,0	12,2
Щелочное число, мг КОН/г	3,3	3,0	2,6	3,8	4,1
Кислотное число, мг КОН/г	2,1	2,3	3,0	2,4	2,7
Температуры вспышки, °С	210	200	205	207	211
Содержание нерастворимого осадка, %	0,80	0,85	0,88	0,53	0,59
Содержание воды, %	0,03	0,04	0,03	0,05	0,03

Установлено, что за период хранения наблюдается незначительный рост кислотного числа. Щелочное число снизилось за счет выпадения присадок вместе с загрязнениями в осадок. В масле в процессе хранения комбайнов образовались следы воды. Несмотря на относительно высокие эксплуатационные остаточные свойства масла проводилась его замена на свежее. Отработанное масло сливалось в общую емкость и использовалось на нужды хозяйства в качестве печного топлива и на долив в гидравлические системы тракторов.

С целью определения защитных, противоизносных свойств отработанного масла, слитого из картера двигателя комбайна после завершения периода межсезонного хранения, проводилась оценка толщины масляной пленки на стальной поверхности гравиметрическим методом. Исследования проводились в сравнительном режиме на товарном масле М-10ДМ и на масле, слитом из двигателя комбайна Дон-1500 № 3 (табл. 2). Оценку проводили в течение 72 часов с замером толщины масляной пленки через каждые 24 часа. Определено, что толщина масляной пленки после первых 24 часов на поверхности пластины, обработанной товарным маслом М-10ДМ, составляла 12 мкм, а на поверхности, обработанной отработанным маслом, – 16 мкм. После 48 часов выдерживания пластины в вертикальном положении, толщина масляной пленки составляла соответственно 9 и 10 мкм и по завершении испытаний через 72 часа толщина масляной пленки на пластинах составляла 8 и 7 мкм. Испытания проводились при температуре окружающей среды 20 °С.

Для определения толщины масляной пленки в зависимости от исходной вязкости проведены исследования на отработанном масле с вязкостью 8 мм²/с и на товарном масле М-10ДМ с вязкостью более 12 мм²/с. На рисунке 1 показана зависимость изменения толщины масляной пленки от времени выдержки пластины. Отработанное загрязненное моторное масло при вязкости 8 мм²/с дает меньшую толщину масляной пленки по сравнению с маслом М-10ДМ. При этом за счет присутствия в отработанном масле продуктов загрязнения (смола) за период 72 часа толщина масляной пленки снизилась с 8 мкм до 6,5 мкм, в то время как толщина пленки товарного масла – с 12 мкм до 9 мкм.

В условиях эксплуатации подготовку техники к хранению проводят в период с сентября по октябрь, когда температура окружающего воздуха находится в диапазоне от +5 до –5 °С. При этом, если мы рассматриваем защитные свойства масла, то следует учитывать температурные особенности: при нанесении масла на стенки гильз цилиндров температура масла может достигать +100 °С и более с последующим понижением до +5 °С и далее ниже до 0 °С.

На основании имеющихся предположений о влиянии температурного фактора на образование и сохранение защитной пленки на поверхности трения проведены исследования, заключающиеся в следующем. Товарное масло М-10ДМ и отработанное моторное масло наносили на поверхность металла при температуре +100 °С с последующим перемещением металлических пластин в среду с температурой окружающего воздуха 0...+5 °С. Время выдержки пластин составляло 24, 48 и 72 часа. В таблице 3 представлены результаты определения толщины масляной пленки исходя из заданных условий.

Таблица 3. Результаты определения толщины масляной пленки исходя из условий нанесения при 100 °С и выдержки при 0 °С

Показатель	Товарное масло М-10ДМ			Отработанное масло		
	Время выдержки, ч					
	24	48	72	24	48	72
Толщина масляной пленки, мкм	10	8	7	9	8	6

В соответствии с полученными данными следует вывод о том, что в период постановки комбайна на хранение исходное масло (прогретое) практически не влияет на толщину образования пленки на гильзе цилиндра [4, 5]. По мере охлаждения поверхности в течение 24 часов масло будет «задерживаться» с большей эффективностью, если его изначальная вязкость была выше. Проведенные пробные исследования на пластинках, нагретых до 100 °С, с нанесением на них масла (70–80 °С), и на пластинках при температуре 20 °С с нанесением на них масла (70–80 °С) показали различные результаты при их выдержке в течение 24 часов. На прогретой пластине толщина пленки составляла 8 мкм, на «холодной» – 12 мкм.

Также в ходе решения задач разработки состава и технологии ресурсосбережения при использовании масел в двигателях зерноуборочных комбайнов в период эксплуатации и простоя проведены предварительные исследования по оценке толщины масляной пленки моторного масла М-10ДМ и рабоче-консервационного масла К-17. В таблице 4 представлены некоторые физико-химические характеристики масел.

Таблица 4. Некоторые физико-химические характеристики масел

Показатели	Моторное масло М-10ДМ (товарное)	Рабоче-консервационное масло К-17 (товарное)
Вязкость кинематическая при 100 °С, мм ² /с	12	17
Щелочное число, мг КОН/г	1,4	0,2
Кислотное число, мг КОН/г	9,0	9,4

Предварительный анализ проводился путем нанесения масла на стальные пластинки (предварительно отполированные) при температуре масла 20 и 80 °С. Оценивалась толщина масляной пленки на пластинке после ее окунания в масло и выдержки в течение 24 часов при температуре окружающего воздуха около 20 °С. Установлено, что толщина масляной пленки составляла 12 мкм (масло М-10ДМ) и 15 мкм (масло К-17). Полученные значения не сильно разнятся, имеет место некоторое превосходство масла К-17.

Данные эксперименты и результаты в большой степени относятся к статике процессов, когда пленка (масло) наносится на пластину. В двигателе внутреннего сгорания попадающее на стенки гильз цилиндров масло «сдвигается» маслоъемными кольцами.

В.Д. Прохоренков и А.Э. Северный приводят данные собственных исследований, в соответствии с которыми образующаяся на стенках гильз цилиндров масляная пленка (М-10Г₂) имеет толщину 2–3 мкм и способна защитить в течение всего межсезонного периода хранения от коррозии без применения специальных масел с учетом полной герметизации двигателя от проникновения влаги (пути ее попадания вместе с атмосферным кислородом через выхлопную трубу, щуп и т.д.) [5, 6]. Данный факт в какой-то степени является определяющим при отказе от использования консервационных масел специального назначения. Также разработчики современных моторных масел утверждают, что товарные моторные масла М-10Г₂, М-10ДМ способны обеспечить защиту деталей двигателей от коррозии на протяжении шести месяцев и более [8, 9].

Не подвергая сомнению результаты исследований ученых и разработчиков составов моторных масел необходимо отметить некоторые моменты:

- большинство деталей цилиндро-поршневой группы двигателей комбайнов за предельного срока эксплуатации (более 50%) находятся в изношенном состоянии, и исключить проникновение воздуха, а соответственно, образование конденсата и возникновение очагов коррозионного поражения на зеркале гильзы цилиндра практически невозможно;

- по мере работы двигателя антикоррозионные присадки выгорают, и к моменту постановки техники на хранение их количество уменьшается на 50–60% и более;

- в сельскохозяйственных предприятиях отсутствуют элементарные методы и средства оперативного контроля качества работающих моторных масел;

- в 90% случаев зерноуборочные комбайны хранятся на открытых площадках и подвержены существенным перепадам температуры, что не исключает образования микрокапель воды, способных вызывать коррозию и когезию на гильзах цилиндров;

- отказ от слива масла (замены) на основании предположений о его высоких эксплуатационных свойствах при использовании его в последующем сезоне увеличивает износ деталей цилиндро-поршневой группы, в том числе и гильз цилиндров;

- действия, направленные на снижение затрат при постановке техники на хранение, и ее последующая эксплуатация на отработавшем более 100 часов масле увеличивают износ деталей двигателей комбайнов и снижают срок службы техники;

- в период вынужденного простоя двигателя моторное масло окисляется, и даже кратковременный запуск увеличивает износ основных деталей цилиндро-поршневой группы;

- в период вынужденного простоя происходит осаждение загрязнений (при отказе от слива и замены работавшего масла) на дне картера и в масляных каналах.

Выводы

В период постановки комбайна на хранение исходное масло (прогретое) практически не влияет на толщину образования пленки на гильзе цилиндра двигателя. По мере охлаждения поверхности в течение 24 часов масло будет «задерживаться» с большей эффективностью, если его изначальная вязкость была выше.

Требуется новый научно обоснованный подход к использованию масла в двигателях зерноуборочных комбайнов в период их эксплуатации, перед постановкой на хранение и в период хранения, что позволит снизить износ основных деталей двигателя, продлить срок службы дорогостоящей техники, решить вопрос снижения затрат на ее эксплуатацию, обеспечить решение задач ресурсосбережения при обслуживании машин.

В основу указанного подхода должны быть положены исследования по следующим аспектам проблемы:

- удаление из моторных масел продуктов окисления в процессе эксплуатации комбайна (без слива масла);
- проведение мероприятий по глубокой очистке отработанного масла, подготовке на его основе состава рабоче-консервационного масла (без слива его из картера двигателя);
- разработка технологических процессов консервации и расконсервации двигателей зерноуборочных комбайнов.

Список источников

1. Гайдар С.М. Защита сельскохозяйственной техники от коррозии и износа с применением нанотехнологий: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03. Москва, 2011. 433 с.
2. Завражнов А.И., Бобрович Л.В., Ведищев С.М. Тенденции развития инженерного обеспечения в сельском хозяйстве: учебник для вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 688 с.
3. Остриков В.В., Жерновников Д.Н., Петрашев А.И., Ерохин Г.Н., Нагдаев В.К. Проблемы и задачи снижения износа и коррозии деталей двигателей зерноуборочного комбайна в период длительного простоя // Наука в Центральной России. 2021. № 6 (54). С. 100–105.
4. Остриков В.В., Прохоренков В.Д., Петрашев А.И. Топливо, смазочные и консервационные материалы. Белгород: Белгородская ГСХА, 2008. 263 с.
5. Прохоренков В.Д. Разработка методов противокоррозионной защиты и технологических процессов хранения сельскохозяйственной техники: дис. д-ра техн. наук: 05.17.03. Тамбов, 2002. 399 с.
6. Северный А.Э. Сохраняемость и защита от коррозии сельскохозяйственной техники. Москва: ГОСНИТИ, 1993. 233 с.
7. Тарасенко А.П. Роторные зерноуборочные комбайны : учебное пособие для студентов вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2013. 188 с.
8. Черноиванов В.И., Лялякин В.П., Голубев И.Г. Инновационные проекты и разработки в области технического сервиса. Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. 96 с.
9. Школьников В.М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: справочник. Москва: Техинформ, 1999. 596 с.
10. Kaesche H. Corrosion of metals: physicochemical principles and current problems. New York: Springer, 2003. 594 p.
11. Macián B., Tormos P., Olmeda Y.A. Findings from a fleet test on the performance of two engine oil formulations in automotive CNG engines // Lubrication Science. 2015. Vol. 27(1). Pp. 15–28.
12. Perez N. Electrochemistry and corrosion science. New York: Springer, 2004. 362 p.

References

1. Gaydar S.M. Zashchita sel'skokhozyajstvennoj tekhniki ot korrozii i iznosa s primeneniem nanotekhnologii [Protection of agricultural machinery from corrosion and wear using nanotechnologies]: dissertatsiya ... doctora tekhnicheskikh nauk = Doctoral Dissertation in Engineering Sciences: 05.20.03. Moscow; 2011. 433 p. (In Russ.).
2. Zavrazhnov A.I., Bobrovich L.V., Vedishchev S.M. Tendentsii razvitiya inzhenerenogo obespecheniya v sel'skom khozyajstve [Trends in the development of engineering support in agriculture]. Saint Petersburg: Lan'; 2022. 688 p. (In Russ.).
3. Ostrikov V.V., Zhernovnikov D.N., Petrashev A.I., Erohin G.N., Nagdaev V.K. Problemy i zadachi snizheniya iznosa i korrozii detalej dvigatelej zernouborochnogo kombajna v period dlitel'nogo prostoya [Problems and tasks of reducing wear and corrosion of engine parts of a combine harvester during a long period of downtime]. *Nauka v Central'noj Rossii = Science in Central Russia*. 2021;(6):100-105. (In Russ.).
4. Ostrikov V.V., Prohorenkov V.D., Petrashev A.I. Topливо, smazochnye i konservatsionnye materialy [Fuel, lubricants and preservation materials]. Belgorod: Belgorod State Agricultural Academy Press; 2008. 263 p. (In Russ.).

5. Prokhorenkov V.D. Razrabotka metodov protivokorroziionnoj zashchity i tekhnologicheskikh protsessov khraneniya sel'skokhozyajstvennoj tekhniki [Development of methods of anticorrosive protection and technological processes of storage of agricultural machinery]: dissertatsiya ... doctora tekhnicheskikh nauk = Doctoral Dissertation in Engineering Sciences: 05.17.03. Tambov; 2002. 399 p. (In Russ.).
6. Severny A.E. Sokhranyaemost' i zashchita ot korrozii sel'skokhozyajstvennoj tekhniki [Preservation and corrosion protection of agricultural machinery]. Moscow: GOSNITI Press; 1993. 233 p. (In Russ.).
7. Tarasenko A.P. Rotornye zernoborochnye kombajny [Rotary combine harvesters]. Saint Petersburg: Lan'; 2021. 192 p. (In Russ.).
8. Chernoiyanov V.I., Lyalyakin V.P., Golubev I.G. Innovatsionnye proekty i razrabotki v oblasti tekhnicheskogo servisa [Innovative projects and developments in the field of technical service]. Moscow: Rosinforma-grotekh; 2010. 96 p. (In Russ.).
9. Shkol'nikov V.M. Topliva, smazochnye materialy, tekhnicheskie zhidkosti. Assortiment i primenenie [Fuels, lubricants, technical fluids. Assortment and application]: Handbook. Moscow: Tekhinform Press; 1999. 596 p. (In Russ.).
10. Kaesche H. Corrosion of metals: physicochemical principles and current problems. New York: Springer; 2003. 594 p.
11. Macián B., Tormos P., Olmeda Y.A. Findings from a fleet test on the performance of two engine oil formulations in automotive CNG engines. *Lubrication Science*. 2015;27(1):15-28.
12. Perez N. Electrochemistry and corrosion science. New York: Springer; 2004. 362 p.

Информация об авторах

В.В. Остриков – доктор технических наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», viitinlab8@bk.ru.

В.К. Нагдаев – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», viitinlab8@bk.ru.

М.В. Вигдорович – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», директор Angara GmbH, mv016@yahoo.com.

Д.Н. Афоничев – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», dmafonichev@yandex.ru.

А.В. Забродская – научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», viitinlab8@bk.ru.

Д.Н. Жерновников – младший научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», viitinlab8@bk.ru.

Information about the authors

V.V. Ostrikov, Doctor of Engineering Sciences, Senior Researcher, Head of the Laboratory for the Use of Lubricants and Spent Petroleum Products, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, viitinlab8@bk.ru.

V.K. Nagdaev, Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, viitinlab8@bk.ru.

M.V. Vigdorovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Director of Angara GmbH, mv016@yahoo.com.

D.N. Afonichev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, dmafonichev@yandex.ru.

A.V. Zabrodskaya, Researcher, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, viitinlab8@bk.ru.

D.N. Zhernovnikov, Junior Researcher, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, viitinlab8@bk.ru.

Статья поступила в редакцию 20.04.2022; одобрена после рецензирования 29.05.2022; принята к публикации 16.06.2022.

The article was submitted 20.04.2022; approved after revision 29.05.2022; accepted for publication 16.06.2022.

© Остриков В.В., Нагдаев В.К., Вигдорович М.В., Афоничев Д.Н., Забродская А.В., Жерновников Д.Н., 2022