

УДК 629.114.2.004

Математическое описание процесса технического обслуживания машин к решению задачи выбора экологических показателей его качества

В.Н. Хабардин, д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

В настоящее время в теории и практике технического обслуживания машин все большее внимание уделяют экологической безопасности. Это обусловлено тем, что ТО тракторов и других машин проводят как в стационарных, так и полевых условиях. В соответствии с ГОСТом 20793–2009 проведение смазочно-заправочных операций (СЗО) должно исключать попадание топливно-смазочных материалов (ТСМ) на почву. Однако осуществить это практически достаточно сложно по ряду причин. На первом этапе решения этой проблемы требуется создание научно обоснованной методики оценки качества ТО по экологическим показателям. До настоящего времени такая методика не разработана, что сдерживается прежде всего отсутствием соответствующей теоретической базы, в основу которой на первом этапе должно быть положено обоснование экологических показателей качества. Для решения этой задачи выполнено математическое описание процесса ТО, на основе которого установлено, что коэффициент качества ТО машин в полевых условиях с учётом последствий функциональных отказов при СЗО представляет собой отношение допускаемой к фактической удельной суммарной массы пролитых ТСМ на почву при ТО и соответствует коэффициенту экологической опасности, а его обратная величина – коэффициенту экологической безопасности. На этой основе представляется возможным разработать методику определения экологической безопасности СЗО, которая может быть востребована для оценки экологической безопасности ТО тракторов при их создании, совершенствовании, а также при выборе лучшей модели.

Ключевые слова: машина, техническое обслуживание, смазочно-заправочная операция, топливно-смазочные материалы, полевые условия, экологическая безопасность, методика, определение.

В настоящее время в теории и практике технического обслуживания (ТО) машин, используемых в сельском хозяйстве, всё большее внимание уделяют вопросам экологической безопасности [1–10]. Это обусловлено тем, что в соответствии с ГОСТом 20793–2009 [11] ТО тракторов и других машин проводят как в стационарных условиях, так и в поле – на местах их работы – в контакте с живой природой. Стандарт регламентирует ТО машин в полевых условиях, но при этом должны соблюдаться требования охраны окружающей среды. В частности, проведение смазочно-заправочных работ должно исключать попадание нефтепро-

дуктов (топливно-смазочных материалов) на почву. Однако осуществить это практически достаточно сложно по ряду причин, к которым относятся: слабая приспособленность машин к ТО в полевых условиях, недостаточная надёжность механизированных средств ТО, ошибки, а нередко и низкая экологическая культура оператора, а также несоответствие условий труда в поле требованиям технической безопасности. В связи с этим на первом этапе решения проблемы экологической безопасности ТО машин требуется создание научно обоснованной методики оценки качества процесса ТО по экологическим показателям. До настоящего времени такая методика

не разработана, что сдерживается прежде всего отсутствием соответствующей теоретической базы, в основу которой на первом этапе должно быть положено обоснование экологических показателей качества [5–10]. Решение этой задачи, несомненно, актуально.

Материал и методы исследования. Цель исследования – обоснование экологических показателей качества ТО машин с учётом последствий функциональных отказов при выполнении смазочно-заправочных операций.

Объект исследования – процесс технического обслуживания машин в полевых условиях.

В основу методики положены события (функциональные отказы – события, заключающиеся в попадании топливно-смазочных материалов (ТСМ) на почву) и закономерности их проявления при выполнении смазочно-заправочных операций (СЗО) в полевых условиях. При этом процесс ТО представлен многомерно-одномерной схемой исследования – системой на основе «чёрного ящика» с входными и выходными сигналами исследуемого объекта. В этом случае задача моделирования состоит в построении вход-выходного отображения, задающего математическую (количественную) зависимость между двумя пространствами функций, элементами которых являются входные и выходные сигналы. Входные сигналы (внешние воздействия) – удельная суммарная стоимость устранения последствий отказа при проливе ТСМ и удельная суммарная стоимость издержек от нарушения требований охраны окружающей среды при ТО машины в поле – при попадании ТСМ в почву. Выходные сигналы (реакция на внешние воздействия) – экологические показатели качества ТО. Кроме того, в методике исследования использованы методы синтеза, анализа, аналогии и сравнения.

Результаты исследования. Коэффициент качества ТО i -й марки трактора (i -объекта) в полевых условиях равен:

$$K_{Ki} = \frac{C_{Di}}{C_{\Phi i}}, \quad (1)$$

при $C_{\Phi i} \geq C_{Di}$,

где C_{Di} , $C_{\Phi i}$ – допустимая и фактическая удельная суммарная стоимость (в руб. на моточ.) потерь устранения последствий функциональных отказов при проведении ТО i -объекта. При этом C_{Di} и $C_{\Phi i}$ в общем виде могут быть представлены формулой:

$$C_i = \sum_{l=1}^N C_{li}, \quad (2)$$

где C_{li} – совокупность (N) технико-экономических показателей l по i -объекту.

При ТО машин на местах их использования (в поле) C_i (2) примет вид:

$$C_i = C_{OTi} + I_{\Delta i}, \quad (3)$$

где C_{OTi} – удельная суммарная стоимость устранения последствий отказа при проливе ТСМ по i -объекту;

$I_{\Delta i}$ – удельная суммарная стоимость издержек от нарушения требований охраны окружающей среды при ТО i -объекта в поле – при попадании ТСМ в почву.

Далее выразим C_{OTi} и $I_{\Delta i}$.

Удельную суммарную стоимость устранения последствий отказа при проливе ТСМ по i -объекту выразим как:

$$C_{OTi} = Z_{TPi} + P_{Pi} + Z_{Mi} + Z_{Vi} + Z_{UMi} + Z_{UVi}, \quad (4)$$

где Z_{TPi} , P_{Pi} – удельные суммарные затраты труда и потери от простоев машин;

Z_{Mi} , Z_{Vi} – дополнительные удельные суммарные затраты на ТСМ и ветошь;

Z_{UMi} , Z_{UVi} – удельные суммарные затраты на утилизацию ТСМ и ветоши.

При

$$Z_{TPi} = t_{Oi} C_T, \quad (5)$$

$$P_{Pi} = T_{Oi} C_P, \quad (6)$$

$$Z_{Mi} = m_{Mi} \rho_M^{-1} C_M, \quad (7)$$

$$Z_{Vi} = m_{Mi} H_V C_V, \quad (8)$$

$$Z_{UMi} = m_{Mi} \gamma_M C_{UM}, \quad (9)$$

$$Z_{UVi} = m_{Mi} H_V C_{UV}, \quad (10)$$

уравнение (4) примет вид:

$$C_{OTi} = t_{Oi} C_T + T_{Oi} C_P + m_{Mi} \rho_M^{-1} C_M + m_{Mi} H_V C_V + m_{Mi} \gamma_M C_{UM} + m_{Mi} H_V C_{UV}, \quad (11)$$

где t_{Oi} , T_{Oi} – удельная суммарная трудоёмкость и продолжительность устранения последствий отказа при ТО i -объекта (чел.-ч/моточ, ч/моточ);

C_T – часовая тарифная ставка специалиста, выполняющего ТО;

C_P – стоимость потерь за час простоя машины;

m_{Mi} – удельная суммарная масса пролитых ТСМ на почву при ТО i -объекта, кг/моточ;

ρ_M – плотность ТСМ (масла);

C_M – цена одного литра масла, руб.;

H_V – расход ветоши в кг на 1 кг собранного на неё масла;

C_V – цена 1 кг ветоши, руб.;

γ_M – относительная доля масла, собранного с почвой при устранении последствий отказа;

C_{UM} , C_{UV} – стоимость утилизации 1 кг ТСМ с почвой и 1 кг промасленной ветоши, руб.

В полученном уравнении (11) представим t_{Oi} и T_{Oi} следующим образом:

$$t_{Oi} = m_{Mi} H_t, \quad (12)$$

$$T_{Oi} = m_{Mi} H_t, \quad (13)$$

что возможно при $T_{Oi} = t_{Oi}$,

где H_t – норма времени на устранение последствий отказа – на удаление с почвы 1 кг масла.

С учётом формул (12) и (13) уравнения (5) и (6) примут вид:

$$З_{ТРi} = m_{Mi} H_i C_T, \quad (14)$$

$$П_{Пi} = m_{Mi} H_i C_{П}. \quad (15)$$

Теперь подставим в (11) правые части уравнений (14) и (15) вместо слагаемых $З_{ТРi}$ (5) и $П_{Пi}$ (6), и тогда выражение (11) после несложных преобразований примет вид:

$$C_{OTi} = m_{Mi} [H_i (C_T + C_{П}) + \rho_M^{-1} Ц_M + H_B Ц_B + \gamma_M C_{УМ} + H_B C_{УВ}]. \quad (16)$$

Удельную суммарную стоимость издержек от нарушения требований охраны окружающей среды при ТО i -объекта в поле (от попадания ТСМ в почву) определим следующим образом.

На первом этапе найдём экологический ущерб от загрязнения земель, который в общем виде определяется по формуле [12, 13]:

$$У_T = S H_C K_{Э} K_{П} K_{Хn}, \quad (17)$$

где S – площадь почв и земель, сохранённая от деградации за отчётный период времени в результате проведённых природоохранных мероприятий, га;

H_C – норматив стоимости земель, руб/га или руб/м²;

$K_{Э}$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории;

$K_{П}$ – коэффициент для особо охраняемых территорий;

$K_{Хn}$ – повышающий коэффициент за предотвращение (ликвидацию) загрязнения земель несколькими (n) химическими веществами.

Приведённое выражение (17) преобразуем следующим образом. Выразим S по формуле:

$$S_{ТОi} = \frac{M_{Mi}}{M_{П}}, \quad (18)$$

где $S_{ТОi}$ – площадь почв и земель, подверженная деградации при ТО i -объекта, руб/м²;

M_{Mi} – суммарная масса пролитых ТСМ на почву за цикл ТО i -объекта, кг;

$M_{П}$ – предельная масса ТСМ, достаточная для того, чтобы привести к полной деградации почву на площади 1 м², кг/м².

Поделим числитель и знаменатель правой части уравнения (18) на наработку за цикл ТО i -объекта и получим:

$$S_{ТОi} = \frac{m_{Mi}}{m_{П}}, \quad (19)$$

где $S_{ТОi}$ – площадь почв и земель, подверженная деградации при ТО i -объекта, руб/м²;

$m_{П}$ – предельная масса ТСМ на единицу наработки (моточ) i -объекта, достаточная для того, чтобы привести к полной деградации почву на площади 1 м², кг/моточ·м².

Теперь подставим найденное $S_{ТОi}$ (19) в (17) и получим искомую удельную суммарную стои-

мость издержек $И_{Эi}$, обусловленную попаданием ТСМ в почву при ТО i -объекта:

$$И_{Эi} = m_{Mi} m_{П}^{-1} H_C K_{Э} K_{П} K_{Хn}. \quad (20)$$

Если учесть коэффициент γ_M – относительную долю масла, собранного с почвой при устранении последствий отказа, то формула (20) примет вид:

$$И_{Эi} = m_{Mi} m_{П}^{-1} H_C K_{Э} K_{П} K_{Хn} (1 - \gamma_M). \quad (21)$$

Зная C_{OTi} (16) и $И_{Эi}$ (21), в соответствии с (3) после несложных преобразований получим C_i :

$$C_i = m_{Mi} [H_i (C_T + C_{П}) + \rho_M^{-1} Ц_M + H_B Ц_B + \gamma_M C_{УМ} + H_B C_{УВ} + m_{П}^{-1} H_C K_{Э} K_{П} K_{Хn} (1 - \gamma_M)]. \quad (22)$$

Выражение в квадратных скобках этого уравнения примем за постоянную величину, например C :

$$C = H_i (C_T + C_{П}) + \rho_M^{-1} Ц_M + H_B Ц_B + \gamma_M C_{УМ} + H_B C_{УВ} + m_{П}^{-1} H_C K_{Э} K_{П} K_{Хn} (1 - \gamma_M). \quad (23)$$

Тогда формула (22) с учётом (23) примет вид:

$$C_i = m_{Mi} C. \quad (24)$$

В завершение найдем K_i (1). Для этого сначала выразим $C_{ди}$ и $C_{фи}$ по аналогии с (24):

$$C_{ди} = m_{дMi} C, \quad (25)$$

$$C_{фи} = m_{фMi} C, \quad (26)$$

где $m_{дMi}$, $m_{фMi}$ – допускаемая и фактическая удельная суммарная масса пролитого масла на почву при ТО i -объекта.

Значения $C_{ди}$ (25) и $C_{фи}$ (26) подставим в (1) и после сокращения получим:

$$K_{Ki} = \frac{m_{дMi}}{m_{фMi}}, \quad (27)$$

при $m_{фMi} \geq m_{дMi}$.

Сопоставляя полученное выражение с экологическими показателями [13], получим:

$$K_{ЭОi} = \frac{m_{дMi}}{m_{фMi}}, \quad (28)$$

$$K_{ЭБi} = \left[\frac{m_{дMi}}{m_{фMi}} \right]^{-1}, \quad (29)$$

где $K_{ЭОi}$, $K_{ЭБi}$ – коэффициенты экологической опасности и безопасности выполнения смазочно-заправочных операций при ТО машин в полевых условиях.

Таким образом, коэффициент качества ТО машин в полевых условиях с учётом последствий функциональных отказов при выполнении смазочно-заправочных операций представляет собой отношение допускаемой к фактической удельной суммарной массе пролитых ТСМ на почву при ТО и соответствует коэффициенту экологической опасности, а его обратная величина – коэффициенту экологической безопасности.

Выводы

1. Выполнено математическое описание процесса ТО, на основе которого установлено, что коэффициент качества ТО машин в полевых условиях с учётом последствий функциональных отказов при проведении смазочно-заправочных операций представляет собой отношение допускаемой к фактической удельной суммарной массе пролитых ТСМ на почву при ТО и соответствует коэффициенту экологической опасности, а его обратная величина – коэффициенту экологической безопасности.

2. На этой основе представляется возможным разработать методику определения экологической безопасности смазочно-заправочных операций, которая может быть востребована для оценки экологической безопасности ТО тракторов при их создании и совершенствовании, а также при выборе лучшей по экологическим показателям качества модели прибора.

Литература

1. Пат. 2519287 Рос. Федерация, МПК В62D 1/00 (2006.01), В60S 5/00 (2006.01). Способ определения экологической безопасности технического обслуживания автотранспортных машин / Хабардин В.Н., Горбунова Т.Л., Чубарева М.В., Шелкунова Н.О.; заявит. и патентооблад. Иркутская ГСХА; № 2012157351/11; заявл. 26.12.2012; опубл. 10.06.2014; Бюл. № 16.
2. Пат. 2545475 Рос. Федерация, МПК В60S 5/00 (2006.01), G01M 15/00 (2006.01). Способ определения экологической безопасности выполнения смазочно-заправочных операций при техническом обслуживании машин / Хабардин А.В., Хабардина А.Ю., Болоев П.А., Горбунова Т.Л., Чубарева М.В.; заявит. и патентооблад. Иркутская ГСХА; № 2013157121/11; заявл. 23.12.2013; опубл. 27.03.2015. Бюл. № 9.
3. Пат. 2723524 Рос. Федерация, В60S 5/00 (2006.01). Способ определения экологической безопасности применения смазочно-заправочных приборов при техническом обслуживании машин в полевых условиях / Хабардина А.В., Горбунова Т.Л., Мирзоян Н.Г.; заявит. и патентообладат. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского. № 2019131797; заявл. 08.10.2019; опубл. 11.06.2020. Бюл. № 17.
4. Пат. 2731069 Рос. Федерация, G01M 15/00 (2006.01). Способ определения экологической безопасности приборов для смазочно-заправочных операций / Хабардина А.В., Хабардин В.Н., Кожевникова Н.И.; заявит. и патентообладат. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского. № 2020107815; заявл. 20.02.2020; опубл. 28.08.2020. Бюл. № 25.
5. Новые сливные устройства для технического обслуживания машин, методика и результаты их экспериментального исследования / В.Н. Хабардин, М.В. Чубарева, Н.О. Шелкунова [и др.] // Достижения науки и техники в АПК. 2013. № 9. С. 70–72.
6. Хабардина А.В., Хабардин В.Н., Чубарева М.В. Смазочно-заправочные операции обслуживания машин и технические средства их выполнения в полевых условиях // Вестник ИрГСХА. 2017. Вып. 78. С. 164–174.
7. Хабардин В.Н. Современные направления развития технического обслуживания машин // Техника в сельском хозяйстве. 2009. № 5. С. 28–30.
8. Условия труда, качество и эффективность технического обслуживания машин в поле / В.Н. Хабардин, А.В. Хабардина, Н.В. Чубарева, М.В. [и др.] // Естественные и технические науки. 2016. № 2. С. 153–163.
9. Хабардин В.Н. Определение экологической безопасности применения мобильных средств технического обслуживания машин // Дальневосточный аграрный вестник. 2019. № 3. С. 116–121.
10. Хабардин В.Н. Проблемы и концепция технического обслуживания машин в сельском хозяйстве: монография. Иркутск: Изд-во ИрГАУ, 2020. 124 с.
11. ГОСТ 20793–2009. Тракторы и машины сельскохозяйственные. Техническое обслуживание. Взамен ГОСТа 20793–86; введ. 2011–05-01. М. : Стандартинформ, 2011. 19 с.
12. Временная методика определения предотвращённого экологического ущерба / Л.В. Вершкова [и др.]; утвержд. Госкомэкологии РФ 09.03.99. М., 1999 [Электронный ресурс]. URL: <http://xreferat.com/7/882-1-opredelenie-usherba-i-strahovogo...kul-tur.html>.
13. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: учеб. пособие для вузов / В. И. Черноиванов [и др.]; под ред. В. И. Черноиванова. М.: ГОСНИТИ; Челябинск: ЧГАУ, 2003. – 992 с.

Хабардин Василий Николаевич, доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского»
Россия, 664038, Иркутская область, Иркутский р-н, п. Молодёжный,
E-mail: rector@igsha.ru; g.tatyana68@mail.ru

Mathematical description of the machine maintenance process for solving the selection problem environmental indicators of its quality

Khabardin Vasily Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor
Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny vill., Irkutsk district, Irkutsk region, 664038, Russia
E-mail: rector@igsha.ru; g.tatyana68@mail.ru

Currently, in the theory and practice of maintenance (MAINTENANCE) of machines, more and more attention is paid to environmental safety. This is due to the fact that the MAINTENANCE of tractors and other machines is carried out both in stationary and field conditions. In accordance with GOST 20793–2009, the conduct of lubrication and refueling operations (SPO) should exclude the ingress of fuel and lubricants (TSM) to the soil. However, this is practically quite difficult to implement for a number of reasons. In our opinion, at the first stage of solving this problem, it is necessary to create a scientifically based methodology for assessing the quality of MAINTENANCE by environmental indicators. To date, such a methodology has not been developed, which is hindered, first of all, by the lack of an appropriate theoretical base, which should be based on the justification of environmental quality indicators at the first stage. This paper is devoted to solving this problem. This is mathematical description of the process the basis on which it is established that the quality factor of the cars in the

field taking into account the consequences of technological failures SZO represents the ratio of permissible to actual specific total mass shed of TSM on soil under and corresponds to the factor of ecological danger, and it is the reciprocal of the coefficient of ecological security. On this basis, it is possible to develop a methodology for determining the environmental safety of the NWO, which can be used to assess the environmental safety of tractors WHEN they are created, improved, and when choosing the best model.

Key words: *machine, maintenance, lubrication and refueling operation, fuel and lubricants, field conditions, environmental safety, methodology, definition.*

