



УДК 631.3.004.67

НОВЫЙ ПРИНЦИП ФОРМИРОВАНИЯ НОРМАТИВОВ СИСТЕМЫ ТОР МАШИН

В.А. Ушанов

Существующие нормативы системы технического обслуживания и ремонта (ТОР) машин основаны на использовании средних значений единиц наработки, выработки и др. Между тем, машина представляет собой вероятностную систему, и фактическое распределение наработок до технических отказов составных частей машины никогда не совпадает со средним их значением. Поэтому использование нормативов такого содержания приводит к недоиспользованию технического ресурса агрегатов машины в связи с преждевременной постановкой ее на ремонт либо, наоборот, составные части машины работают в области повышенной вероятности возникновения их ресурсного отказа, что приводит к прямым потерям с.-х. продукции и увеличивает издержки на содержание машин. Кроме того, нормативы, в основе которых использованы средние значения, совершенно непригодны для обоснования состава ремонтно-обслуживающих работ (РОР) для отдельных экземпляров машин.

В качестве параметра, управляющего составом РОР, предлагается принять количественное значение изношенности машины в целом. Выбор параметра такого содержания связан с тем, что причиной снижения и потери работоспособности машины является изменение технического состояния одновременно всех ее составных частей. Поэтому и основанием для управления содержанием РОР должна быть количественная мера изношенности машины в целом. В связи с этим проблеме количественной оценки технического состояния машины, рассматриваемой как система элементов, нами уделяется особое внимание.

Общей теоретической основой принятого обоснования обобщенного параметра оценки технического состояния машины является теория старения машин и, в частности, ее толкование о их суммированном износе [1].

В терминах теории старения машин суммированный износ машины $P_{M.CVM}$ в общем случае можно представить тремя составляющими:

$$P_{M.CVM} = P_{M1} + P_{M2} + P_{M3}, \quad (1)$$

где $P_{M1} = \Psi_{M1}(t)$, $P_{M2} = \Psi_{M2}(t)$, $P_{M3} = \Psi_{M3}(t)$ - износ, вызываемый нагрузками при работе, транспортировке и при хранении соответственно.

В процессе использования машина под воздействием нагрузок стареет. Влияние нагрузок по мере старения машины не прекращается, следовательно, непрерывно растет и ее износ. Изношенные конструктивные элементы машины являются составляющими суммированного износа и в период дальнейшего изменения функции износа становятся ее постоянными членами. При проведении ремонтно-обслуживающих работ в машину вводятся новые или капитально отремонтированные элементы, которые по мере использования будут изнашиваться в следующий период.

В связи с тем, что бесконечно малому приращению времени использования машины Δt соответствует бесконечно малое приращение износа $\Delta P_{M.CVM}$, суммированный износ машины представляет собой непрерывную функцию времени:

$$P_{M.CVM} = F_M(t). \quad (2)$$

Также и износ отдельных элементов представляет собой непрерывную функцию времени:

$$P_{i.CVM} = f_{gi}(t). \quad (3)$$

Путем суммирования износа всех элементов за срок службы машины будет получена сумма, являющаяся непрерывной функцией:

$$P_{M.CVM} = \sum_1^S P_{i.CVM} = \sum_1^S f_{gi}(t) = F_M(t). \quad (4)$$

Если для всех элементов сложной машины найти подобные функции износа, выразить их в единых измерителях, с учетом соответствующей доли износа элемента в общем балансе машины, а затем просуммировать для всех элементов, то в результате может быть получена функция, оценивающая износ машины в целом.

С учетом выводов автора [1] о закономерностях износа машины в целом сделана попытка довести способ оценки технического состояния машины до прикладного характера, а полученное в результате выражение использовать для количественной оценки изношенности машины. При этом основную роль обобщенного параметра, характеризующего потенциальную работоспособность машин, выполняет остаточный ресурс их элементов.

Чтобы отвечать требованиям, предъявляемым к параметру по оценке фактического технического состояния машины, он должен, на наш взгляд, обладать следующими свойствами:

1. Предлагаемый параметр должен быть связан с периодичностью (которая может быть выражена в единицах наработки, выработки, в мото-ч и др.), а с фактическим техническим состоянием машины необходимо учитывать вероятностный характер его изменения.

2. Численное значение параметра должно являться результатом оценки технического состояния отдельных элементов, учитывать их весомость в общем технико-экономическом балансе машины.

3. Параметр может быть использован как для группы машин, так и для отдельных экземпляров.

4. Параметр технического состояния количественно может быть измерен в любое время с помощью средств технической диагностики.

5. Параметр состояния должен быть безразмерной величиной. Это обстоятельство обеспечит (кроме оценки потенциальной работоспособности) возможность сравнительной оценки и комплексного анализа вариантов системы ТОР.

Учитывая описанные требования, общую изношенность машины предлагается оценивать нормированным взвешенным остаточным ресурсом составляющих ее элементов [2,3]:

$$\sum R_0 = \sum_{i=1}^n \gamma_i \frac{R_{0i}}{R_{Hi}}, \quad (5)$$

где $\sum R_0$ - технический ресурс машины в момент контроля (изношенность машины $\sum R_0 \in 0...1$);

$1, \dots, i, \dots, n$ - количество элементов машины, которое подлежит оценке технического состояния в момент контроля, шт.;

γ_i - коэффициент, характеризующий весомость элемента в технико-экономическом балансе машины;

R_{0i} - остаточный ресурс i -го элемента в момент оценки изношенности машины, мото-ч;

R_{Hi} - исходный ресурс i -го элемента, мото-ч.

Если предположить, что отказ любого элемента имеет одинаковые последствия для состояния машины в целом, то оценку общей ее изношенности можно было бы производить, разделив для этого сумму нормированных остаточных ресурсов элементов на их количество. В действительности же одни агрегаты и узлы машины оказываются важнее других (разная цена, стоимость обслуживания и др.). Кроме этого, трудоемкость разборочных работ при замене какого-то элемента может быть настолько высокой, что становится целесообразной попутная замена наиболее изношенных элементов машины (сокращаются балластные работы). В связи с этим весомость элементов предлагается оценивать следующим образом [2,3]:

$$\gamma_i = \frac{L_2^{(i)} + U(t)_i + Q(t)_i}{\sum_{i=1}^n (L_2^{(i)} + U(t)_i + Q(t)_i)}, \quad (6)$$

где γ_i, n - см. (5) $\sum_{i=1}^n \gamma_i = 1$;

$L_2^{(i)}$ - стоимость капитального ремонта i -го элемента, руб.;

$U(t)_i$ - затраты на устранение эксплуатационных отказов i -го элемента, руб.;

$Q(t)_i$ - величина потерь при простоях из-за i -го элемента, руб.

Схема оценки технического состояния машины приведена на рисунке 1. В приведенном примере машина представлена пятью элементами. В результате очередной (j -й) реализации в соответствии с законами случайного распределения фактическая наработка до ресурсного отказа 1, 2 и 5-го элементов составила $R_1^{(j)}$, $R_2^{(j)}$ и $R_5^{(j)}$ соответственно. В момент ресурсного отказа какого-либо элемента (в нашем примере - третьего) остаточный ресурс неотказавших элементов составил $R_{01}, R_{02}, R_{03} = 0, R_{04}, R_{05}$.

Чтобы обеспечить возможность управления содержанием POP в зависимости от текущего состояния машины ($\sum R_0$), вводятся параметры $R_{H1}^{(1)}$ и $R_{H2}^{(2)}$ (отметим, что $R_{H}^{(i)} \in \sum R_0$ и является количественной характеристикой изношенности машины).

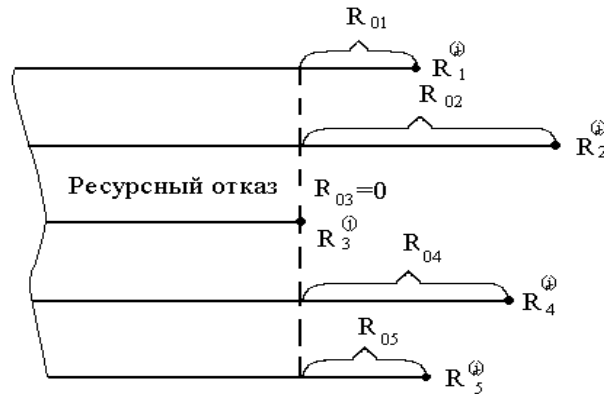


Рис. 1. Схема оценки текущего фактического технического состояния машины по итогам j-й реализации

Поскольку параметры $R_{H1}^{(1)}$ и $R_{H2}^{(2)}$ предлагается использовать в качестве управляющих при принятии решения о составе POP, то их численные значения подлежат оптимизации, после чего эти параметры становятся нормативами $R_{H}^{(i)*}$.

Оптимизация управляющих параметров осуществлялась с использованием имитационной модели [2]. Процедура оптимизации показана на примере параметра $R_{H1}^{(1)}$ и приведена на рисунке 2.

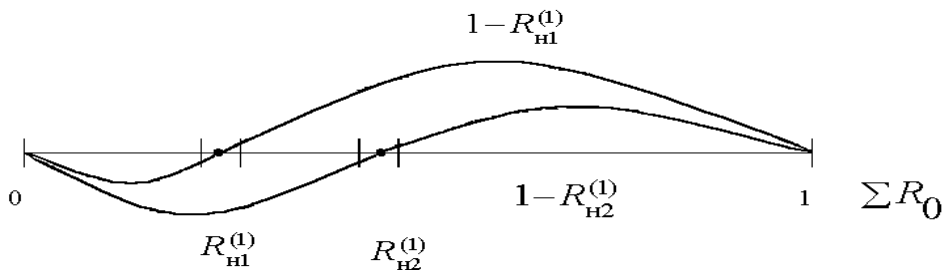


Рис. 2. Принцип оптимизации параметра $R_{H1}^{(1)}$

Из формализованного описания процедуры оптимизации известно [2], что полнокомплексный ремонт машины производится, если в момент принятия решения окажется, что ее текущее фактическое техническое состояние $\sum R_0 \leq R_{H1}^{(1)}$, т.е. если $\sum R_0 = \sum_{i=1}^n \gamma_i R_{0i} / R_{ni}$ в момент контроля принадлежит интервалу $0 \dots R_{H1}^{(1)}$. В остальных случаях, т.е. при $\sum R_0 \in (R_{H1}^{(1)}, 1 - R_{H2}^{(2)})$ возникающая потребность в ремонте удовлетворяется заменой отдельных агрегатов n_a^{KP} .

Если значение управляющего параметра $R_{H2}^{(2)} > R_{H1}^{(1)}$, то потребитель, используя в качестве управляющего параметра $R_{H2}^{(2)}$, увеличивает, при прочих равных условиях, вероятность проведения полнокompлексного ре-

монта. Соответственно вероятность возобновления работоспособности машины путем ремонта отдельных агрегатов n_a^{KP} уменьшается, поскольку $(1 - R_{H2}^{(1)}) < (1 - R_{H1}^{(1)})$.

Чтобы принять решение о виде замен агрегатов при текущем ремонте, необходимо осуществить анализ. Если $\sum R_o \leq R_{H2}^{(2)}$, то текущий ремонт производится путем замены отказавшего агрегата на капитально отремонтированный, в противном случае ($\sum R_o > R_{H2}^{(2)}$) - на новый.

В таблицах 2-7 приведены численные значения нормативов изношенности, которые управляют соотношением между ремонтом отдельных агрегатов и машиной в целом ($R_H^{(1)}$), использованием новых и капитально отремонтированных агрегатов ($R_H^{(2)}$) в зависимости от параметров исходного технического ресурса агрегатов ($R_{и}$), степени его восстановления при капитальном ремонте (q) и величины потерь от простоев (C_N).

Таблица 1

Параметры распределения наработки до ресурсного отказа элементов

Вариант	I		II		III		IV		V	
	$R_{и}$ v	a в	$R_{и}$ v	a в	$R_{и}$ v	a в	$R_{и}$ v	a в	$R_{и}$ v	a в
Двигатель	1900 0,53	1760 1,95	2400 0,53	2350 1,95	2900 0,53	2900 1,95	3400 0,53	3450 1,95	5000 0,53	5250 1,95
КПП	1820 0,60	1540 1,69	2300 0,60	2080 1,69	2800 0,60	2540 1,69	3300 0,60	32001,69	4000 0,60	3900 1,69
Задний мост	2000 0,52	1830 1,99	2500 0,52	2360 1,99	3000 0,52	2860 1,99	3500 0,52	3500 1,99	4000 0,52	4050 1,99
Конечные передачи	2000 0,52	1830 1,99	2500 0,52	2360 1,99	3000 0,52	2860 1,99	3500 0,52	3500 1,99	4000 0,52	4050 1,99
Тележки	2300 0,43	1920 2,45	2800 0,43	2460 2,45	3300 0,43	3030 2,45	3800 0,43	3600 2,45	4000 0,43	3820 2,45

Показатель Δ содержит соотношение издержек при выполнении полнокомплектного ремонта $\Delta \Phi^{PP}$ и ремонта отдельных агрегатов $\Delta \Phi_i^{BP}$. Тем самым учитываются сложившиеся затраты на все виды ремонта и устранение эксплуатационных отказов, в расчет которых входит и стоимость потерь, связанных с ликвидацией технических отказов. Это с одной стороны. С другой – показатель Δ в определенном смысле связан с фактическим техническим состоянием машины $\sum R_o$. Поскольку при каждом ресурсном отказе любого из агрегатов за срок службы и во всех случаях полнокомплектного ремонта он участвует (через частоту ремонтных событий) в формировании общих затрат потребителя $\sum \Phi$, а через это участие - в оптимизации содержания ремонтно-обслуживающих работ.

Эти особенности показателя Δ позволяют включить его в число факторов, учитываемых при обосновании управляющего параметра $R_H^{(1)}$, а показатель R_{Hi} - исключить из непосредственного участия.

Кроме этого, введение безразмерного показателя Δ обеспечивает возможность обоснования параметра $R_H^{(1)}$ в любом масштабе цен на ремонтно-обслуживающие работы.

С этой же целью вместо абсолютных значений стоимости часа простоя C вводится безразмерная ее оценка $C_N = C / C_3$ (C_3 – рыночная стоимость одного кг зерна в регионе, руб.). Показатель C_N , как показал анализ, является наиболее устойчивым к конъюнктуре.

Так, в период устойчивых цен (до 1992 г.), когда осуществлялся натурный эксперимент, $C_3 = 0,18$ руб., а $C = 4,3$ руб. Базовое значение $C_N = 4,3/0,18 = 23,89$. В 1996 г., по данным ГосНИТИ, стоимость часа простоя по тракторам Т-4А в неденоминированных рублях оценивалась в 19,83 тыс. руб. В 1999 г., с учетом курса долгового рубля $C = 68,8$ руб/ч, рыночная стоимость одного килограмма зерна в Красноярском крае составила 3 руб. Тогда для 1999 г. $C_N = 68,8/3 = 22,93$. Разница с 1992 г. составляет 4 %. В дальнейших исследованиях принято считать $C_N = 24, 33$ и 44.

Таблица 2

Оптимальное значение управляющего параметра $R_H^{(1)}$ в разных условиях использования машин ($q = 0,6$)

C_N	24					33					44				
Δ	0,66	0,62	0,58	0,55	0,49	0,59	0,55	0,52	0,49	0,43	0,54	0,50	0,46	0,43	0,37
$R_H^{(1)*}$	0,16	0,17	0,19	0,20	0,23	0,18	0,19	0,21	0,21	0,24	0,21	0,23	0,25	0,25	0,2

Таблица 3

Оптимальное значение управляющего параметра $R_H^{(1)}$ в разных условиях использования машин ($q = 0,7$)

C_N	24					33					44				
Δ	0,69	0,65	0,62	0,59	0,53	0,63	0,59	0,56	0,52	0,46	0,57	0,53	0,50	0,47	0,41
$R_H^{(1)*}$	0,18	0,19	0,19	0,21	0,24	0,19	0,21	0,23	0,23	0,25	0,23	0,23	0,25	0,27	0,29

Таблица 4

Оптимальное значение управляющего параметра $R_H^{(1)}$ в разных условиях использования машин ($q = 0,8$)

C_N	24					33					44				
Δ	0,72	0,68	0,65	0,62	0,56	0,66	0,62	0,59	0,55	0,50	0,61	0,57	0,53	0,50	0,44
$R_H^{(1)*}$	0,19	0,19	0,20	0,21	0,25	0,19	0,23	0,25	0,25	0,27	0,24	0,26	0,26	0,29	0,30

Таблица 5

Оптимальное значение управляющего параметра $R_H^{(1)}$ в разных условиях использования машин ($q = 0,9$)

C_N	24					33					44				
Δ	0,75	0,71	0,68	0,66	0,60	0,69	0,65	0,62	0,58	0,53	0,64	0,60	0,56	0,53	0,47
$R_H^{(1)*}$	0,20	0,21	0,21	0,23	0,27	0,20	0,23	0,27	0,27	0,28	0,25	0,28	0,29	0,30	0,31

Оптимальные значения управляющего параметра $R_H^{(2)*}$ для различных условий принятия решений о содержании текущего ремонта машин

C_N	24				33				44			
q	0,6	0,7	0,8	0,9	0,6	0,7	0,8	0,9	0,6	0,7	0,8	0,9
$R_{H1}^{(2)*}$	0,35	0,39	0,51	0,67	0,32	0,37	0,51	0,63	0,31	0,40	0,48	0,62
$R_{H2}^{(2)*}$	0,46	0,52	0,64	0,80	0,42	0,48	0,56	0,76	0,38	0,48	0,54	0,72

С учетом установленной особенности отдельно приведены значения управляющего параметра $R_H^{(2)*}$, рекомендуемые для использования в условиях, которые одновременно характеризуются и очень низкими показателями исходного технического ресурса R_{H1} , и степенью его восстановления при капитальном ремонте q .

Таблица 7

Оптимальные значения управляющего параметра $R_H^{(2)*}$ для условий с низкими показателями R_H и q

C_N	24		33	44
R_H	I I	II â	I в	I в
q	0,6	0,6	0,6	0,6
$R_{H1}^{(2)*}$	-	-	-	-
$R_{H2}^{(2)*}$	0,17	0,19	0,19	0,22
$R_H^{(1)*}$	0,16	0,17	0,18	0,21

ЛИТЕРАТУРА

1. Селиванов А.И. Основы теории старения машин. – М.: Машиностроение, 1971. - 408 с.
2. Гальперин А.С., Ушанов В.А. Имитационная модель управления техническим состоянием машин // Механизация и электрификация с.х. – 1976. – № 8. – С. 38-41.
3. Ушанов В.А. Автоматизированные методы оптимизации в задачах по эксплуатации машин. – Красноярск: Журналист, 1996. – 200 с.



УДК 629.114.2

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОГО АГРЕГАТА ДПМ-ГТ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА ПРИ КОЛЕБАНИЯХ НАГРУЗКИ

Н.И. Селиванов
А.В. Кузнецов

Для оценки влияния гидротрансформатора (ГТ) на энергетические и экономические показатели с.-х. трактора при работе с неустановившейся нагрузкой и для определения возможности использования при этом его статической характеристики требуется проведение соответствующих теоретического анализа и экспериментальной проверки.

При установившемся движении трактора с тяговой нагрузкой входная переменная – момент сопротивления на турбинном валу ГТ M_c представляет собой случайную величину, подчиняющуюся нормальному закону распределения и закону арксинуса. В первом случае характер распределения M_c соответствует работе трактора при выполнении технологических операций в условиях эксплуатации, а во втором – моделированию нагрузки в стендовых или полевых условиях с использованием загрузочных имитационных устройств.