

ОЦЕНКА УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В.А. Алябьев¹, Р.С. Рахимов², И.Р. Рахимов²

¹Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

²Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Челябинск, Россия

Сокращению количества испытываемых опытных образцов машин и видов испытаний, их продолжительности, а, следовательно, экономии затрат на их проведение способствует определение оценки уровня надежности технической системы при ее проектировании.

В статье рассматривается расчётный метод, позволяющий в соответствии с выбранными критериями достижения технической системой предельного состояния оценить средний ресурс до капитального ремонта машины на этапе ее проектирования.

С учетом этого для машинно-тракторного агрегата на базе трактора общего назначения класса 5 была составлена структурная схема технической системы, анализ которой позволил выполнить вероятностное описание событий, определяющих выработку ресурсов агрегатов и систем машины, записана вероятностная функция надежности сложной технической системы.

Полученные по результатам подконтрольной эксплуатации тракторных агрегатов – аналогов данные об отказах и рассчитанные на их основе значения показателей надежности составляющих техническую систему элементов (вероятность безотказной работы – показатель безотказности) позволили определить надежность (вероятность безотказной работы) самой технической системы. (При этом в зачет принимались только отказы, характеризующие несовершенство конструкций узлов, агрегатов и систем МТА). Это в свою очередь дает возможность оценить ее уровень долговечности, применив Вейбулловское распределение случайной величины (ресурса); получили значение среднего ресурса тракторного агрегата до капитального ремонта, которое соответствует техническому заданию.

Исследование уровня надежности технической системы от составляющих ее элементов показало, что при одинаковом повышении надежности составляющих элементов существенное влияние оказывают силовая установка и рабочее оборудование тракторного агрегата.

Предложенный в статье метод позволяет решить задачу перераспределения надежности между элементами, составляющими сложную техническую систему.

Ключевые слова: надежность, вероятность безотказной работы, средний ресурс машины, тракторный агрегат, рабочее оборудование.

Решение о постановке на серийное производство вновь разрабатываемой технической системы принимается по результатам ее испытаний, в основу которых положены, наравне с агротехническими и энергетическими показателями, оценки качества (надежности) испытываемого изделия, определяемые в соответствии с принятыми в каждой отрасли методиками. В тракторостроении оценка уровня надежности тракторной техники, ее узлов и агрегатов осуществляется по данным различных видов испытаний (стендовых, ресурсных, подконтрольных и др.) в соответствии с методическими указаниями или другими руководящими документами [1–4].

Выявившиеся в процессе испытаний недостатки конструктивного и технологического характера в основном устраняются еще до постановки разрабатываемого изделия на серийное производство. Однако процесс доводки может быть продолжительным по времени и, следовательно, многозатратным [5, 6].

Сокращению объемов и трудоемкости испытаний технической системы способствуют расчетные методы [2, 7–11]. То есть еще на этапе проектирования обязательно предполагается получение теоретически обоснованной оценки надежности технической системы и, при необходимости, распределение надежности системы между ее составляющими.

Рассмотрим первую задачу – определение уровня надежности технической системы.

Достижение технической системой своего предельного состояния определяется в соответствии с техническими критериями. Для этого необходимо составить математическое выражение

вероятности обеспечения надежности сложной технической системы в зависимости от надежности ее составляющих.

Запишем функцию надежности технической системы и расчет надежности (доремонтного ресурса) машинно-тракторного агрегата на примере сельскохозяйственного трактора общего назначения тягового класса 5 - К-744 серии Р, работающего в комплексе с посевным комплексом ПК-12 [12] и выполняющего посев различных сельскохозяйственных культур.

При этом все возникающие при эксплуатации машинно-тракторного агрегата отказы считаем независимыми случайными событиями [2, 8]. По утвержденным в тракторной отрасли типовым техническим критериям [13, 14] ресурс трактора считается выработанным, если обнаружен хотя бы один из следующих признаков – ресурсный отказ или двигателя, или трансмиссии.

Для машинно-тракторного агрегата доремонтный ресурс определяется аналогично предыдущему: если обнаружен хотя бы один из следующих ресурсных отказов – или двигателя, или трансмиссии, или рабочей машины.

Поскольку крутящий момент передается от коробки переключения передач через карданные передачи на ведущие мосты и далее на ведущие колеса, а редуктор осуществляет привод к насосам гидросистем управления поворотом и рабочего навесного оборудования, то уточним функцию надежности трансмиссии через ее механизмы и агрегаты.

Ресурс трансмиссии выработан в случае, если произошел один из следующих ресурсных отказов – или отказ коробки передач и полужесткой муфты, или отказ коробки передач и редуктора привода насоса, или отказ коробки передач и передачи карданной, или отказ коробки передач и ведущих мостов.

Введем обозначения событий:

А – отказ системы (трактор с рабочим оборудованием),

В – отказ двигателя,

С – отказ трансмиссии,

Д – отказ рабочего оборудования,

С₁ – отказ коробки передач (КП),

С₂ – отказ полужесткой муфты (МП),

С₃ – отказ редуктора привода насоса (РПН),

С₄ – отказ карданной передачи (ПК),

С₅ – отказ ведущих мостов (МВ).

Решение поставленной задачи можно найти через вероятностное описание обозначенных событий. Для этого выразим событие А в алгебре обозначенных событий:

$$A = B + C + D, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} C = & \overline{C_1} \cdot \overline{C_2} \cdot \overline{C_3} \cdot \overline{C_4} \cdot \overline{C_5} + C_1 \cdot \overline{C_2} \cdot \overline{C_3} \cdot \overline{C_4} \cdot \overline{C_5} + C_1 \cdot \overline{C_2} \cdot \overline{C_3} \cdot C_4 \cdot \overline{C_5} + \\ & + C_1 \cdot \overline{C_2} \cdot C_3 \cdot \overline{C_4} \cdot \overline{C_5} + C_1 \cdot \overline{C_2} \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot \overline{C_5} + C_1 \cdot \overline{C_2} \cdot \overline{C_3} \cdot C_4 \cdot C_5 + \\ & + C_1 \cdot C_2 \cdot \overline{C_3} \cdot \overline{C_4} \cdot \overline{C_5} + C_1 \cdot C_2 \cdot \overline{C_3} \cdot C_4 \cdot \overline{C_5} + C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot \overline{C_4} \cdot \overline{C_5} + \\ & + C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot \overline{C_5} + C_1 \cdot C_2 \cdot \overline{C_3} \cdot C_4 \cdot C_5 + \\ & + C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot \overline{C_4} \cdot C_5 + C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot \overline{C_5} + C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5. \end{aligned} \quad (2)$$

(Здесь событие, например, $\overline{C_3}$ – противоположное событию С₃).

Для события С, применив теоремы сложения и умножения вероятностей событий С₁, С₂, С₃, С₄ и С₅, запишем формулу определения вероятности того, что трансмиссия выработала свой ресурс:

$$\begin{aligned} Q_T = & Q_{КП} \cdot Q_{МП} \cdot P_{РПН} \cdot P_{ПК} \cdot P_{МВ} + Q_{КП} \cdot P_{МП} \cdot Q_{РПН} \cdot P_{ПК} \cdot P_{МВ} + \\ & + Q_{КП} \cdot P_{МП} \cdot P_{РПН} \cdot Q_{ПК} \cdot P_{МВ} + Q_{КП} \cdot P_{МП} \cdot P_{РПН} \cdot P_{ПК} \cdot Q_{МВ} + \\ & + Q_{КП} \cdot Q_{МП} \cdot Q_{РПН} \cdot P_{ПК} \cdot P_{МВ} + Q_{КП} \cdot Q_{МП} \cdot P_{РПН} \cdot Q_{ПК} \cdot P_{МВ} + \\ & + Q_{КП} \cdot Q_{МП} \cdot P_{РПН} \cdot P_{ПК} \cdot Q_{МВ} + Q_{КП} \cdot P_{МП} \cdot P_{РПН} \cdot Q_{ПК} \cdot Q_{МВ} + \\ & + Q_{КП} \cdot P_{МП} \cdot Q_{РПН} \cdot P_{ПК} \cdot Q_{МВ} + Q_{КП} \cdot P_{МП} \cdot Q_{РПН} \cdot Q_{ПК} \cdot P_{МВ} + \\ & + Q_{КП} \cdot P_{МП} \cdot Q_{РПН} \cdot Q_{ПК} \cdot Q_{МВ} + Q_{КП} \cdot Q_{МП} \cdot P_{РПН} \cdot Q_{ПК} \cdot Q_{МВ} + \\ & + Q_{КП} \cdot Q_{МП} \cdot Q_{РПН} \cdot P_{ПК} \cdot Q_{МВ} + Q_{КП} \cdot Q_{МП} \cdot Q_{РПН} \cdot Q_{ПК} \cdot P_{МВ} + \\ & + Q_{КП} \cdot Q_{МП} \cdot Q_{РПН} \cdot Q_{ПК} \cdot Q_{МВ}. \end{aligned} \quad (3)$$

Тогда функция надежности технической системы (машинно-тракторного агрегата) примет

вид

Расчет и конструирование

$$P_C = P_D \cdot (1 - Q_T) \cdot P_{OP}. \quad (4)$$

Для проверки и при необходимости уточнения полученных зависимостей (1)–(4) составим структурную схему соединения элементов, составляющих техническую систему (рис. 1), для которой запишем функцию надежности [3, 8, 15].

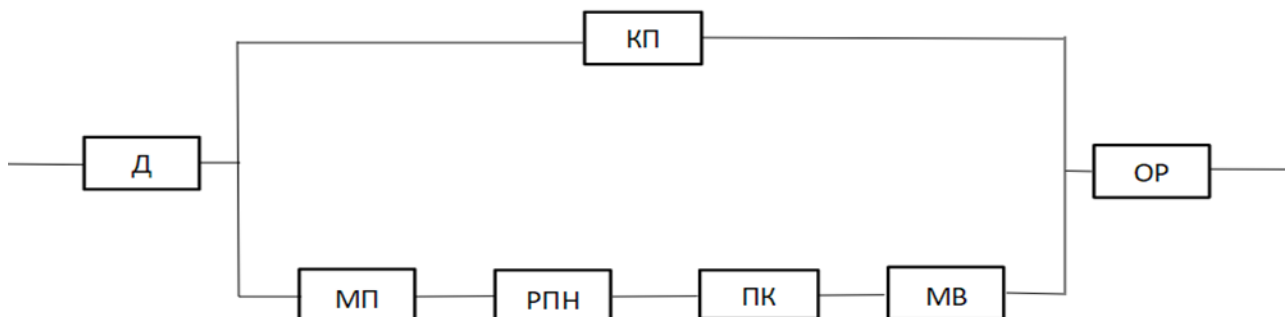


Рис. 1. Структурная схема соединения элементов в технической системе (обозначения в схеме: Д – двигатель, КП – коробка передач, МП – полужесткая муфта, РПН – редуктор привода насоса, ПК – передача карданная, МВ – мосты ведущие, ОР – оборудование рабочее)

$$P_C(t) = P_D(t) \cdot P_T(t) \cdot P_{OP}(t). \quad (5)$$

$$Q_T(t) = Q_{КП}(t) \cdot Q_{МП,РПН,ПК,МВ}(t). \quad (6)$$

$$\begin{aligned} P_T(t) &= 1 - Q_T(t) = 1 - Q_{КП}(t) \cdot Q_{МП,РПН,ПК,МВ}(t) = \\ &= 1 - [1 - P_{КП}(t)] \cdot [1 - P_{МП,РПН,ПК,МВ}(t)] = \\ &= 1 - [1 - P_{КП}(t)] \cdot [1 - P_{МП}(t) \cdot P_{РПН}(t) \cdot P_{ПК}(t) \cdot P_{МВ}(t)]. \end{aligned} \quad (7)$$

$$P_C(t) = P_D(t) \cdot \{1 - [1 - P_{КП}(t)] \cdot [1 - P_{МП,РПН,ПК,МВ}(t)]\} \cdot P_{OP}(t). \quad (8)$$

Для выполнения расчетов по формулам (1)–(4) была составлена матрица исходных данных, значения которых приняты по результатам подконтрольной эксплуатации комплексов машин – аналогов [12]:

$$P_D = 0,9; P_{КП} = 0,92; P_{МП} = 0,96; P_{РПН} = 0,97; P_{ПК} = 0,95; P_{МВ} = 0,84; P_{OP} = 0,85.$$

Вероятность того, что трансмиссия трактора выработала свой ресурс, равна:

$$Q_T = (1 - 0,92) \cdot (1 - 0,96 \cdot 0,97 \cdot 0,95 \cdot 0,84) = 0,0205522.$$

Тогда функция надежности машинно-тракторного агрегата составит:

$$P_C = 0,9 \cdot (1 - 0,0205522) \cdot 0,85 = 0,7492776.$$

Выполненный проверочный расчет по формулам (5)–(8) подтвердил полученные значения.

Для полученного значения вероятности безотказной работы машинно-тракторного агрегата воспользуемся универсальным в теории надежности Вейбулловским законом распределения, который в зависимости от численных значений его параметров **a** и **b** позволяет описать для исследуемой случайной величины ее функцию распределения [3, 8, 16]:

$$Q_C(t) = F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right] \quad (9)$$

или

$$P_C(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right], \quad (10)$$

где t – случайная величина (доремонтный ресурс).

Решение уравнения (10) относительно величины t позволит получить доремонтный ресурс машинно-тракторного агрегата: для значений параметров **a** = 14500 и **b** = 3 [17] средний ресурс МТА до капитального ремонта составил около 9600 моточасов.

Исследование влияния на уровень надежности технической системы (МТА) ее составляющих элементов показало следующее (табл. 1):

1. Изменение вероятности безотказной работы двигателя (при неизменности надежности каждого из элементов трансмиссии и рабочего оборудования) с 0,80 до 0,94 приводит к повышению надежности МТА на 17,5 %.

2. Изменение вероятности безотказной работы коробки передач с 0,80 до 0,94 приводит к снижению вероятности отказа трансмиссии на 70,0 % и повышению надежности МТА на 3,8 %.

3. Изменение вероятности безотказной работы полужесткой муфты с 0,80 до 0,98 приводит к снижению вероятности отказа трансмиссии на 36,59 % и повышению надежности МТА на 1,15 %.

4. Изменение вероятности безотказной работы редуктора привода насоса с 0,80 до 0,98 приводит к снижению вероятности отказа трансмиссии на 35,62 % и повышению надежности МТА на 1,14 %.

5. Изменение вероятности безотказной работы карданной передачи с 0,80 до 0,96 приводит к снижению вероятности отказа трансмиссии на 33,44 % и повышению надежности МТА на 1,04 %.

6. Изменение вероятности безотказной работы ведущего моста с 0,80 до 0,94 приводит к снижению вероятности отказа трансмиссии на 42,37 % и повышению надежности МТА на 1,02 %.

7. Изменение вероятности безотказной работы рабочего оборудования МТА с 0,80 до 0,94 (при неизменности надежности силовых установки и передачи) приводит к повышению надежности системы на 17,5 %.

Таблица 1

Вероятность безотказной работы технической системы

№ п/п	Диапазон и шаг изменения величины	Исходные данные элементов технической системы	Вероятность отказа трансмиссии трактора, Q_T	Вероятность безотказной работы технической системы, P_C
1	2	3	4	5
1	$P_D = 0,80-0,94$ $\Delta(P_D) = 0,02$	$P_{КП} = 0,92$ $P_{МП} = 0,96$ $P_{РПН} = 0,97$ $P_{ПК} = 0,95$ $P_{МВ} = 0,84$ $P_{ОР} = 0,85$	0,02055219	0,6660245108 0,6826751236 0,6993257363 0,7159763491 0,7326269619 0,7492775747 0,7659281874 0,7825788002
2	$P_{КП} = 0,80-0,94$ $\Delta(P_{КП}) = 0,02$	$P_D = 0,9$ $P_{МП} = 0,96$ $P_{РПН} = 0,97$ $P_{ПК} = 0,95$ $P_{МВ} = 0,84$ $P_{ОР} = 0,85$	0,05138048 0,046242432 0,041104384 0,035966336 0,030828288 0,02569024 0,02055219 0,015414144	0,7256939328 0,7296245395 0,7335551462 0,737485753 0,7414163597 0,7453469664 0,7492775731 0,75320818
3	$P_{МП} = 0,80-0,98$ $\Delta(P_{МП}) = 0,02$	$P_D = 0,9$ $P_{КП} = 0,92$ $P_{РПН} = 0,97$ $P_{ПК} = 0,95$ $P_{МВ} = 0,84$ $P_{ОР} = 0,85$	0,03046016 0,029221664 0,027983168 0,026744672 0,025506176 0,02426768 0,023029184 0,021790688 0,020552192 0,019313696	0,74169798 0,74264543 0,74359288 0,74454033 0,74548778 0,74643523 0,74738268 0,74833013 0,74927758 0,75022503

№ п/п	Диапазон и шаг изменения величины	Исходные данные элементов технической системы	Вероятность отказа трансмиссии трактора, Q_T	Вероятность безотказной работы технической системы, P_C
1	2	3	4	5
4	$P_{PНН} = 0,80-0,98$ $\Delta(P_{PНН}) = 0,02$	$P_D = 0,9$ $P_{КП} = 0,92$ $P_{МП} = 0,96$ $P_{ПК} = 0,95$ $P_{МВ} = 0,84$ $P_{ОР} = 0,85$	0,03097088 0,029745152 0,028519424 0,027293696 0,026067968 0,0252224 0,0236165 0,0223908 0,021165056 0,019939328	0,74130728 0,74224496 0,74318264 0,74412033 0,74505801 0,74570487 0,74693337 0,74787105 0,74880873 0,74974642
5	$P_{КП} = 0,80-0,96$ $\Delta(P_{КП}) = 0,02$	$P_D = 0,9$ $P_{КП} = 0,92$ $P_{МП} = 0,96$ $P_{PНН} = 0,97$ $P_{МВ} = 0,84$ $P_{ОР} = 0,85$	0,029938688 0,028687156 0,027435625 0,02618409 0,024932557 0,023681024 0,022424192 0,021177959 0,019926426	0,74209691 0,74305433 0,74401175 0,74496917 0,7459266 0,74688402 0,7478455 0,74879887 0,74975629
6	$P_{МВ} = 0,80-0,94$ $\Delta(P_{МВ}) = 0,02$	$P_D = 0,9$ $P_{КП} = 0,92$ $P_{МП} = 0,96$ $P_{PНН} = 0,97$ $P_{ПК} = 0,95$ $P_{ОР} = 0,85$	0,02338304 0,02185216 0,020552192 0,019136768 0,017721344 0,01630592 0,0148905 0,013475072	0,7471112 0,7482831 0,74927758 0,75036038 0,75144318 0,75252598 0,75360877 0,75469157
7	$P_{ОР} = 0,80-0,94$ $\Delta(P_{ОР}) = 0,02$	$P_D = 0,9$ $P_{КП} = 0,92$ $P_{МП} = 0,96$ $P_{PНН} = 0,97$ $P_{ПК} = 0,95$ $P_{МВ} = 0,84$	0,02055192	0,70520262 0,72283263 0,74046275 0,75809282 0,77572288 0,79335295 0,81098301 0,82861308

Полученные расчетные значения вероятностей безотказной работы технической системы:

- позволяют вычислить средний ресурс машинно-тракторного агрегата до его капитального ремонта при определенных технологических и почвенно-климатических условиях, определяющих значения параметров распределения случайной величины (ресурса);
- показывают, что повышение качества изготовления таких составляющих трансмиссию трактора узлов, как полужесткая муфта, редуктор привода насоса, карданная передача, ведущий мост, позволяет снизить вероятность отказа трансмиссии на 33,44–42,37 % и, соответственно, несущественно повысить надежность МТА на 1,02–1,15 %;
- подтверждают несколько большее в сравнении с другими составляющими трансмиссию узлами влияние коробки передач на надежность МТА, которая повышается на 3,8 % при аналогичных условиях изменения вероятности безотказной работы КП.

На надежность машинно-тракторного агрегата оказывает существенное влияние помимо ус- танавливаемого на трактор двигателя и рабочее оборудование МТА: увеличение вероятности безотказной работы агрегата по расчетам составляет 17,5 %.

Не меньший интерес представляет вторая задача, обратная к решаемой, заключающаяся в определении надежности какого-либо элемента системы при заданных уровнях надежности всех остальных составляющих эту систему элементов и самой системы [8, 18–20].

Так, задавая значения вероятностей безотказной работы двигателя, коробки передач, полужесткой муфты, редуктора привода насоса, карданной передачи, ведущего моста и МТА, можно вычислить вероятность безотказной работы рабочего оборудования агрегата, воспользовавшись формулами (6)–(8).

Снижение вероятностей безотказной работы коробки передач до 0,88, а всех остальных узлов трансмиссии до 0,8 позволит при неизменности надежности двигателя и МТА повысить вероятность безотказной работы рабочего оборудования на 5,42 % (табл. 2).

Таблица 2

Вероятность безотказной работы рабочего оборудования МТА

№ п/п	Вероятность безотказной работы	
	Двигателя, составляющих трансмиссию элементов, МТА	Рабочего оборудования
1	2	3
1	$P_D = 0,9, P_{КП} = 0,88, P_{МП} = P_{РПН} = P_{ПК} = P_{МВ} = 0,82,$ $P_{МТА} = 0,7492775747$	$P_{ОР} = 0,8911175055$
2	$P_D = 0,9, P_{КП} = 0,88, P_{МП} = P_{РПН} = P_{ПК} = P_{МВ} = 0,8,$ $P_{МТА} = 0,7492775747$	$P_{ОР} = 0,8960112432$

Выводы

Предложенный в статье метод позволяет:

- оценить уровень надежности технической системы на этапе ее проектирования;
- с учетом экономической целесообразности проведения технических обслуживаний и ремонтов исследуемой технической системы распределить ее надежность между составляющими элементами;
- определить, исходя из оценки уровня надежности технической системы, соотношение ее качества (надежности) и ценового уровня ее изготовления и реализации потребителю.

Литература

1. Шаламов, А.А. Тракторы промышленные и промышленные модификации сельскохозяйственных тракторов. Надежность. Сбор и обработка информации: методические указания / А.А. Шаламов, Ю.Н. Логинов, В.Я. Вибе. – НАТИ-ЧФ НАТИ. – Челябинск, 1986. – 94 с.
2. Труханов, В.М. Надежность технических систем типа подвижных установок на этапе проектирования и испытаний опытных образцов / В.М. Труханов. – М.: Машиностроение, 2003. – 320 с.
3. Викторова, В.С. Модели и методы расчета надежности технических систем / В.С. Викторова, А.С. Степанянц. – Изд. 2-е, испр. – М.: ЛЕНАНД, 2016. – 256 с.
4. Babchenko, L.A. Data Control for Reliability of Agricultural Tractors / L.A. Babchenko, A.A. Gulyarenko // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2020. – Vol. 49(10). – P. 900–906. – <https://doi.org/10.3103/S1052618820100039>
5. Буйносов, А.П. Исследования и испытания наземных транспортно-технологических машин: методические рекомендации / А.П. Буйносов. – Екатеринбург: УрГУПС. – 2014. – 102 с.
6. Zhao, Z. Field reliability estimation of agricultural tractors based on warranty data / Z. Zhao, F. Cheng // Transactions of the ASABE. – 2021. – Vol. 64(2). – P. 705–714. – <https://doi.org/10.13031/TRANS.14318>.
7. Прогнозирование надежности тракторов / В.Я. Анилович, А.С. Гринченко, В.Л. Литвиненко и др.; под ред. В.Я. Аниловича. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
8. Алябьев, В.А. Основы теории и методика определения параметров надёжности дорожно-строительных машин: учебное пособие / В.А. Алябьев, Е.И. Бердов, В.Н. Бондарь. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2020. – 300 с.

9. Berdennikov, E.A. Assessment of individual reliability indicators and rational service life of agricultural tractors / E.A. Berdennikov, A.M. Smirnov // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 341(1). – No. 012124. – <https://doi.org/10.1088/1755-1315/341/1/012124>.

10. Dobretsov, R.Yu. The Method of Expert Assessments as Applied to the Ranking of Technical Solutions in the Design of a Tractor Gearbox / R. Yu. Dobretsov et al // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – Vol. 2094. – No. 042028. – <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2094/4/042028>

11. Litvinenko, R. An Approach to Determining the Integrated Reliability of Technical Systems at the Development Stage / R. Litvinenko et al. // *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. – 2022. – P. 83–94. – https://doi.org/10.1007/978-981-16-9376-2_8

12. Рахимов, Р.С. Разработка конструктивной схемы и обоснование параметров почвообрабатывающего посевного агрегата с пневматическим высевом семян для тракторов класса тяги 5 / Р.С. Рахимов, И.П. Рахимов, Е.О. Фетисов и др. // *Отчет о научно-исследовательской работе, номер гос. учета АААА-А20-120012490063-0. Инв. № 01-100120*. – Троицк, 2020. – 183 с.

13. Типовые технические критерии предельного состояния промышленных и лесопромышленных тракторов и их сборочных единиц. Методика, арх. № 3297. Отв. исп. Шаламов А.А. – Челябинск: ЧФ НАТИ, 1988. – 96 с.

14. Optimal criteria for durability test of stepped transmissions of agricultural tractors / M. Mattetti, M. Maraldi, E. Sedoni et al. // *Biosystems Engineering*. – 2019. – Vol. 178. – P. 145–155. – <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.11.014>

15. Galiev, I. Ensuring possibility of functioning of tractors in agricultural production taking into account residual resources of their units and systems / I. Galiev et al. // *Engineering for Rural Development*. – 2020. – Vol. 19. – P. 48–53. – <https://doi.org/10.22616/ERDev2020.19.TF012>

16. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие / В.Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.

17. Алябьев, В.А. Об оценке параметров Вейбулловского закона распределения / В.А. Алябьев, А.В. Шарин // *Автомобильная техника. Силовые установки: науч. труды. Выпуск 6*. – Челябинск: ЧВВАИУ, 1996. – С. 114–116.

18. Rahman, P.A. Using multithreaded programming for reliability simulation of the restorable technical systems with identical elements and arbitrary reliability structure / P.A. Rahman // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – Vol. 2032(1). – No. 012012. – <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2032/1/012012>

19. Troyanovskaya, I.P. Experimental Comparison of Smooth Movement of an Agricultural Tractor with Balancer Suspension and Torsion Bar Suspension / I.P. Troyanovskaya et al. // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 941. – No. 012163. – <https://doi.org/10.1088/1757-899X/941/1/012063>

20. Lebedev, A. Operational Management of Reliability of Technical Systems in the Agro-Industrial Complex / A. Lebedev et al. // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – 2022. – Vol. 246. – P. 79–87. – https://doi.org/10.1007/978-3-030-81619-3_9

Алябьев Вадим Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Колесные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, aliabevva@susu.ru

Рахимов Ильдар Рансович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Челябинск, ildarr@bk.ru

Рахимов Раис Саитгалеевич, доктор технических наук, профессор, кафедра «Тракторы, сельскохозяйственные машины и земледелие», Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Челябинск, ildarr@bk.ru

Поступила в редакцию 7 сентября 2022 г.

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF RELIABILITY OF THE TECHNICAL SYSTEM AT THE DESIGN STAGE

V.A. Alyabyev¹, aliabevva@susu.ru

R.S. Rakhimov², ildarr@bk.ru

I.R. Rakhimov², ildarr@bk.ru

¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

²South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, Russian Federation

To reduce the number of tested prototypes of machines and types of tests, their duration, and, consequently, to save costs for their implementation, the determination of the assessment of the level of reliability of the technical system during its design contributes.

The article considers a calculation method that allows, in accordance with the selected criteria for achieving the technical system of the limit state, to estimate the average resource before the overhaul of the machine at the stage of its design.

With this in mind, a structural diagram of a technical system was compiled for a machine-tractor unit based on a general-purpose tractor of class 5, the analysis of which made it possible to perform a probabilistic description of events that determine the development of resources of aggregates and machine systems, a probabilistic reliability function of a complex technical system was recorded.

The data on failures obtained from the results of controlled operation of tractor units – analogues and the values of reliability indicators of the components of the technical system calculated on their basis (the probability of failure-free operation - the indicator of failure-free operation) made it possible to determine the reliability (the probability of failure-free operation) of the technical system itself. (At the same time, only failures characterizing the imperfection of the designs of components, aggregates and MTA systems were taken into account). This, in turn, makes it possible to assess its level of durability: by applying the Weibull distribution of the service value (resource), the value of the average resource of the tractor unit before major repairs was obtained, which corresponds to the technical task.

The study of the level of reliability of the technical system from its constituent elements showed that with the same increase in the reliability of the constituent elements, the power plant and the working equipment of the tractor unit have a significant impact.

The method proposed in the article allows us to solve the problem of redistributing reliability between the elements that make up a complex technical system.

Keywords: reliability, probability of trouble-free operation, average life of the machine, tractor unit, working equipment.

References

1. Shalamov A.A., Loginov Yu.N., Vibe V.Ya. *Traktory promyshlennyye i promyshlennyye modifikatsii sel'skokho-zyaystvennykh traktorov. Nadezhnost'. Sbor i obrabotka informatsii: metodicheskiye ukazaniya* [Tractors industrial and industrial modifications of agricultural tractors. Reliability. Collection and processing of information: guidelines]. Chelyabinsk. NATI-CHF NATI. 1986. 94 p.
2. Trukhanov V.M. *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem tipa podvizhnykh ustanovok na etape proyektirovaniya i ispytaniy opytnykh obraztsov* [Reliability of technical systems such as mobile installations at the stage of design and testing of prototypes]. Moscow Mashinostroenie, 2003. 320 p.
3. Viktorova V.S., Stepanyants A.S. *Modeli i metody rascheta nadezhnosti tekhnicheskikh sistem. Izd. 2-ye, ispr* [Models and methods for calculating the reliability of technical systems. Ed. 2nd, rev]. Moscow. LENAND, 2016. 256 p.

4. Babchenko L.A., Gulyarenko A.A. Data Control for Reliability of Agricultural Tractors. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2020, vol. 49(10), pp. 900–906. <https://doi.org/10.3103/S1052618820100039>
5. Buynosov A.P. *Issledovaniya i ispytaniya nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin: metodicheskiye rekomendatsii*. [Research and testing of ground transport and technological machines: guidelines]. Yekaterinburg, UrGUPS, 2014. 102 p.
6. Zhao Z., Cheng F. Field reliability estimation of agricultural tractors based on warranty data *Transactions of the ASABE*, 2021, vol. 64(2), pp. 705–714. <https://doi.org/10.13031/TRANS.14318>
7. Anilovich V.Ya., Grinchenko A.S., Litvinenko V.L., Chernyavsky I.Sh. *Prognozirovaniye nadezhnosti traktorov*. [Forecasting the reliability of tractors]. Moscow. Mashinostroenie, 1986. 224 p.
8. Alyabiev V.A., Berdov E.I., Bondar V.N. *Osnovy teorii i metodika opredeleniya parametrov nadozhnosti dorozhno-stroitel'nykh mashin: uchebnoye posobiye* [Fundamentals of the theory and methodology for determining the reliability parameters of road-building machines: a tutorial]. Chelyabinsk: Publishing Center of SUSU, 2020. 300 p.
9. Berdennikov E.A., Smirnov A.M. Assessment of individual reliability indicators and rational service life of agricultural tractors. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 341(1), article no. 012124. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/341/1/012124>
10. Dobretsov R.Yu. The Method of Expert Assessments as Applied to the Ranking of Technical Solutions in the Design of a Tractor Gearbox. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 2094, no. 042028. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2094/4/042028>
11. Litvinenko R. An Approach to Determining the Integrated Reliability of Technical Systems at the Development Stage. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2022, pp. 83–94. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9376-2_8
12. Rakhimov R.S., Rakhimov I.R., Fetisov E.O. and others. *Razrabotka konstruktivnoy skhemy i obosnovaniye parametrov pochvoobrabatyvayushchego posevnogo agregata s pnevmaticheskimi vysevom semyan dlya traktorov klassa tyagi 5. Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote, nomer gos. Ucheta AAAA-A20-120012490063-0. Inv. №01-100120*. [Development of a design scheme and justification of the parameters of a soil-cultivating sowing unit with pneumatic sowing of seeds for tractors of traction class 5. Report on research work, state number. Accounting AAAA-A20-120012490063-0. Inv. No. 01-100120]. Troitsk, 2020. 183 p.
13. Shalamov A.A. *Tipovyye tekhnicheskiye kriterii predel'nogo sostoyaniya promyshlennykh i lesopro-myshlennykh traktorov i ikh sborochnykh yedinit. Metodika, arkh. no. 3297* [Typical technical criteria for the limiting state of industrial and timber tractors and their assembly units. Methodology, arch. No. 3297.] Chelyabinsk: CHF NATI, 1988. 96 p.
14. Mattetti M., Maraldi M., Sedoni E., Molari G. Optimal criteria for durability test of transmissions stepped of agricultural tractors. *Biosystems Engineering*, 2019, vol. 178, pp. 145–155. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.11.014>
15. Galiev I. Ensuring the possibility of functioning of tractors in agricultural production taking into account residual resources of their units and systems. *Engineering for Rural Development*, 2020, vol. 19, pp. 48–53. <https://doi.org/10.22616/ERDev2020.19.TF012>
16. Gmurman V.E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika: uchebnoye posobiye* [Probability Theory and Mathematical Statistics: Textbook]. Moscow. Higher school, 2003. 479 p.
17. Alyabiev V.A., Sharin A.V. [On Estimating the Parameters of the Weibull Distribution Law. Automotive technology]. *Power plants: scientific works*, 1996, iss. 6. pp. 114–116. (in Russ).
18. Rahman P.A. Using multithreaded programming for reliability simulation of the restorable technical systems with identical elements and arbitrary reliability structure. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 2032(1), article no. 012012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2032/1/012012>
19. Troyanovskaya I.P. Experimental Comparison of Smooth Movement of an Agricultural Tractor with Balancer Suspension and Torsion Bar Suspension. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. vol. 941, no. 012163. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/941/1/012063>

20. Lebedev A. Operational Management of Reliability of Technical Systems in the Agro-Industrial Complex. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, vol. 246, pp. 79–87. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81619-3_9

Received 7 September 2022

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Алябьев, В.А. Оценка уровня надежности технической системы на этапе проектирования / В.А. Алябьев, Р.С. Рахимов, И.Р. Рахимов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2022. – Т. 22, № 3. – С. 42–51. DOI: 10.14529/engin220304

FOR CITATION

Alyabyev V.A., Rakhimov R.S., Rakhimov I.R. Assessment of the level of reliability of the technical system at the design stage. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2022, vol. 22, no. 3, pp. 42–51. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin220304
