

УДК 631. 354

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

### **МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

Царев Юрий Александрович

д-р техн. наук, профессор

SPIN-код автора: 3585-8390

[ycarev@donstu.ru](mailto:ycarev@donstu.ru)

*ФГБОУ ВО «Донской государственный  
технический университет», Ростов-на-Дону,  
Россия*

Царев Олег Юрьевич

консультант по ИТ

[myaucha-pyt@yandex.ru](mailto:myaucha-pyt@yandex.ru)

*АО «Деловые решения и технологии», Москва,  
Россия*

Перед каждым сельхозпроизводителем всегда стоит задача иметь надежные и дешевые сложные сельскохозяйственные машины. С другой стороны, заводу-изготовителю сложных сельскохозяйственных машин и дилеру нужно продавать все больше основной продукции и запасных частей к ней. Решение этого противоречия между потребителем и производителем является актуальной технической задачей. Актуальной задачей, в этом случае, является – определение оптимальных сроков замены деталей, сборочных единиц и агрегатов, под сроки проведения технических обслуживаний сельскохозяйственных машин. Повышение эксплуатационной надежности сложных сельскохозяйственных машин рассматривается на примере совершенствования проведения технических обслуживаний самоходных зерноуборочных комбайнов с использованием известного уравнения связи и табличных значений функции Лапласа. С использованием основ теории вероятности и табличных значений функции Лапласа предлагается расчет средних значений наработки до отказа деталей, сборочных единиц и агрегатов сложных сельскохозяйственных машин на примере самоходных зерноуборочных комбайнов. Таким образом, противоречия между потребителем и производителем сложных сельскохозяйственных машин можно решать путем совершенствования сервисных книжек, доведении КБ заводов-изготовителей в своей работе кратности ТО средних значений наработки до отказа для всех запчастей, строгом соблюдении сроков замены запчастей дилерами и сельхозпроизводителями

UDC 631. 354

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

### **METHOD OF INCREASING THE OPERATIONAL RELIABILITY OF COMPLEX AGRICULTURAL MACHINES**

Tsarev Yuri Alexandrovich

Dr.Sci.Tech., Professor

RSCI SPIN-code: 3585-8390

[ycarev@donstu.ru](mailto:ycarev@donstu.ru)

*Don state technical University, Rostov-  
on-don, Russia*

Tsarev Oleg Yurievich

IT consultant

[myaucha-pyt@yandex.ru](mailto:myaucha-pyt@yandex.ru)

*JSC "Business Solutions and Technologies",  
Moscow, Russia*

Every agricultural producer is always faced with the task of having reliable and cheap complex agricultural machines. On the other hand, the manufacturer of complex agricultural machinery and the dealer need to sell more and more basic products and spare parts for it. Solving this contradiction between the consumer and the manufacturer is an urgent technical task. An urgent task, in this case, is to determine the optimal timing of replacement of parts, assembly units and aggregates, for the timing of technical maintenance of agricultural machinery. Improving the operational reliability of complex agricultural machines is considered by the example of improving the maintenance of self-propelled combine harvesters using the well-known coupling equation and tabular values of the Laplace function. Using the fundamentals of probability theory and tabular values of the Laplace function, the calculation of the average values of the operating time to failure of parts, assembly units and aggregates of complex agricultural machines is proposed on the example of self-propelled combine harvesters. Thus, the contradictions between the consumer and the manufacturer of complex agricultural machines can be solved by improving service books, bringing the design bureaus of manufacturers in their work to the multiplicity of the average operating time to failure for all spare parts, strict compliance with the terms of replacement of spare parts by dealers and agricultural producers

Ключевые слова: СЛОЖНАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МАШИНА, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, СРЕДНЯЯ НАРАБОТКА ДО ОТКАЗА, ДЕТАЛЬ, СБОРОЧНАЯ ЕДИНИЦА, АГРЕГАТ

Keywords: COMPLEX AGRICULTURAL MACHINE, MAINTENANCE, AVERAGE OPERATING TIME TO FAILURE, PART, ASSEMBLY UNIT, UNIT

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-189-017>

### **Введение и цель.**

Обычно от завода-изготовителя сложных сельскохозяйственных машин требуют высоких показателей надежности [1]. Однако сельхозпроизводителям (потребителям этих машин) совсем неинтересно знать, что эта машина, например, самоходный зерноуборочный комбайн имеет коэффициент готовности 0,98. Сельхозпроизводителю надо, чтобы этот зерноуборочный комбайн безотказно работал в течение уборочного сезона. Поэтому передовые фирмы производители зерноуборочных комбайнов в своих инструкциях по эксплуатации и сервисных книжках обычно указывают, что при соблюдении определенных условий эксплуатации комбайнов, ваша машина в течение сезона будет работать безотказно [2]. Прерогатива конструкторского бюро и технического управления завода-изготовителя (теперь и дилера), отвечающих за качественное производство и эксплуатацию, становится расчет показателей надежности деталей, сборочных единиц и агрегатов, и обоснование условий эксплуатации зерноуборочного комбайна, обеспечивающих эти показатели. В современных условиях с этой целью дилерские организации, машинно-технологические станции и отделы надежности заводов-изготовителей формируют базы данных отказов деталей, сборочных единиц и агрегатов, для логистики, оценки и управления значениями показателей надежности. Для чего и до какого уровня? Если повышать надежность зерноуборочного комбайна, то это требует дополнительных и больших затрат. С другой стороны, комбайны, машины восстанавливаемые, значит должны ломаться, тогда можно

<http://ej.kubagro.ru/2023/05/pdf/17.pdf>

больше продавать запасных частей, да и самих машин, а это выгодно для производителей машин, но не выгодно для сельхозпроизводителей. Например, по статистике передовые дилерские организации от продажи запчастей имеют до 60% от общего дохода.

Налицо противоречие между потребителями и производителями сложных, а значит и дорогих, сельскохозяйственных машин. Одни хотят простую, надежную и дешевую технику без всяких показателей надежности, другие гонятся за прибылью от продажи запасных частей и самих машин.

### **Материалы и методы.**

Что можно предложить в этом случае. Во всех инструкциях по эксплуатации сложных сельскохозяйственных машин предусмотрены технические обслуживания (ТО). Например, в инструкциях на зерноуборочные комбайны, предусмотрено проведение ТО-1, через каждые 60 часов, ТО-2, через 240 часов и т.д. Естественно механизатор, работающий на комбайне, или дилер никогда точно через указанное время не будет проводить ТО. Причем нигде и никем не устанавливается продолжительность самого ТО. Будем исходить из того, что продолжительность ТО составляет одну смену. Возьмем, к примеру, смену работы комбайнера в 8-10 часов и предположим, что ему надо провести за это время ТО-1 одного комбайна (а если их 10?). Возможно, что ТО-1 может быть проведено в конце шестидневной недели работы комбайна в интервале от 60 до 70 часов, но может и в другом интервале, и занять время смены до 8-10 часов. В этом случае, исходя из вероятностного характера проведения ТО, можно предположить, что момент проведения ТО-1 подчиняется некоторому закону распределения, например, со средним значением,  $T_{ТО}=65$  часа, и среднеквадратическим отклонением, условно  $\sigma_{ТО} = 10/6 = 1,67$  часа (рисунок 1).

Очевидно, что КБ завода-изготовителя необходимо подстраиваться,

с заменой деталей, сборочных единиц или агрегатов, под сроки проведения ТО, которое КБ само же и установило. Каким образом? Надо делать детали, сборочные единицы и агрегаты, так, чтобы средняя наработка до отказа  $T_{ср\ o_i}$  этих изделий была кратна ТО, имела закон распределения близкий к нормальному со своими среднеквадратическими отклонениями  $\sigma_{o_i}$ , в интервале которых механизатор должен успеть заменить еще пока не отказавшие детали, сборочные единицы или агрегаты.

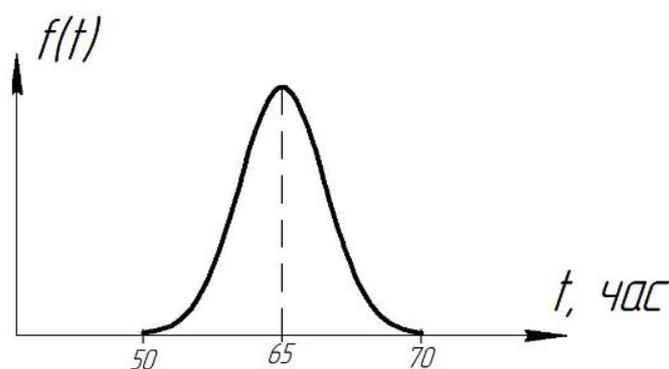


Рисунок 1 - Интервал проведения механизатором ТО-1

Перед КБ должна стоять задача подгонки средних значений наработки до отказа и ее среднеквадратических отклонений деталей, сборочных единиц и агрегатов, таким образом, чтобы сельхозпроизводитель (или дилер) по данным сервисной книжки или инструкции по эксплуатации мог заблаговременно менять при ТО эти элементы (детали, сборочные единицы, агрегаты), даже если они еще не вышли из строя. Тем самым завод-изготовитель будет обеспечивать для сельхозпроизводителя надежную работу зерноуборочного комбайна, при реализации «оптимального» (достаточного) количество запасных частей. Поэтому в инструкции по эксплуатации, например, зерноуборочных комбайнов для сельхозпроизводителей должны быть установлены строгие интервалы (правила) проведения ТО (например, для ТО-1, это 60-70 часов), с учетом сменной работы комбайнера. Это должно касаться и ТО-2, ТО-3, а может

быть и сроков постановки на хранение, проведения текущих ремонтов, когда требуется менять детали, сборочные единицы или агрегаты.

Требования сельхозпроизводителя – иметь надежный и дешевый в эксплуатации зерноуборочный комбайн; желание завода-изготовителя и дилера – продавать больше комбайнов и запасных частей к ним.

Покупатель всегда прав, поэтому заводу-изготовителю и дилеру следует иметь такую базу данных со средней наработкой до отказа деталей, сборочных единиц и агрегатов, кратных ТО, чтобы сельхозпроизводитель смог их своевременно менять, при этом заводу-изготовителю и дилеру надо постоянно работать над корректировкой (не обязательно над увеличением) сроков безотказной работы деталей, сборочных единиц и агрегатов, тем самым, «доказывая» сельхозпроизводителю свое стремление снизить цену на основную продукцию и запасные части к ней.

Таким образом, стоит задача найти золотую середину между потребностью сельхозпроизводителя в запасных частях и желанием завода-изготовителя в производстве запчастей. Очевидно, что все теперь должно строиться на основе экономических соображений, которые зависят от конъюнктуры рынка, цены производства запчастей заводом-изготовителем, и их использования сельхозпроизводителем (прибылью от использования), которые имеют стохастический характер.

В этом случае можно предложить выбор и обоснование потребности, в запасных частях исходя из равенства доли в прибыли, например, завода-изготовителя ( $D_z$ ) и сельхозпроизводителя ( $D_c$ ), а далее с выходом на потребность в запчастях.

Рассмотрим долю прибыли завода-изготовителя:

$$D_z = P_z / \Sigma C_z,$$

где  $P_z$  – прибыль завода-изготовителя от продажи запчастей сельхозпроизводителям, в у.е.;

$\Sigma C_3$  – объем продаж запчастей сельхозпроизводителям, в у.е.

Долю прибыли некоторого сельхозпроизводителя, можно выразить аналогично:

$$D_c = P_c / \Sigma C_c,$$

где  $P_c$  – прибыль конкретного сельхозпроизводителя от производства и реализации своей продукции, в у.е.;

$\Sigma C_3$  – объем покупки запчастей у завода-изготовителя, в у.е.

Полагая их равенство

$$P_3 / \Sigma C_3 = P_c / \Sigma C_c, \quad (1)$$

рассмотрим простой пример:

$$P_3 = 10 \text{ у.е.}; \Sigma C_3 = 100 \text{ у.е.}; P_c = 1 \text{ у.е.}; \Sigma C_c = 5 \text{ у.е.},$$

$10/100 < 1/5$ , следовательно, заводу следует повышать в 2 раза цену на запчасти или увеличивать продажу запчастей (снижать их качество!), причем для конкретного сельхозпроизводителя.

Но кто при существующей экономической системе озвучит свою реальную прибыль.

Очевидно, необходимо идти другим путем: учитывать сроки проведения ТО, сопоставлять с ними суммарную наработку деталей, сборочных единиц и агрегатов, поскольку такая статистика ведется как на заводе-изготовителе, так и у дилера, а также у добросовестного сельхозпроизводителя (компьютеры у всех есть). Например, рассмотрим сроки проведения ТО для зерноуборочных комбайнов, таблица 1.

Таблица 1 – Сроки проведения ТО для зерноуборочного комбайна за сезон (норматив работы по ТУ за сезон 300-350 мото-час, или 200-330 ч.)

№ п/п	Вид ТО	Сроки проведения, ч	Время проведения ТО, ч
1	ТО-1	60	+10
2	ТО-1	120	
3	ТО-1	180	
4	ТО-2	240	
5	ТО-1, надо убирать кукурузу	300	
6	ТО-1, надо убирать подсолнечник	360	
7	ТО-1, и т.д.	400	

Будем исходить из того, что на проведение очередного ТО механизаторам потребуется одна смена 8-10 часов. Процесс проведения ТО механизаторами стохастический, например, со своими параметрами  $T_{ТО}$  и  $\sigma_{ТО}$ , поэтому для оценки средней наработки до отказа запчастей  $T_{ср_{oi}}$  и  $\sigma_{oi}$ , относительно сроков проведения ТО, будем исходить из нормального закона распределения.

Для расчета среднего значения наработки до отказа деталей, сборочных единиц или агрегатов, в дальнейшем просто запасных частей, совместно со сроками проведения ТО, воспользуемся известным уравнением связи и табличными значениями функции Лапласа [3-5].

$$u = - (T_{ТО} - T_{ср_{oi}}) / (\sigma_{ТО}^2 + \sigma_{oi}^2)^{1/2}, \quad (2)$$

где  $T_{ТО}$ ,  $\sigma_{ТО}$  – среднее значение момента проведения ТО и среднеквадратическое его отклонение;

$T_{ср_{oi}}$ ,  $\sigma_{oi}$  - среднее значение наработки до отказа  $i$ -ой запасной части и среднеквадратическое ее отклонение.

Теоретически это выглядит, как на рисунке 2.

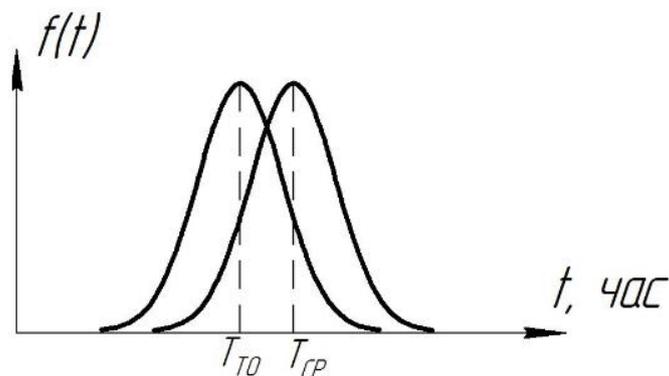


Рисунок 2 – Теоретический интервал между проведением ТО и надежностью запасной части

### Результаты.

Построим таблицу 2 исходных данных для расчета средних значений наработки до отказа запчастей для соответствующих сроков проведения ТО, с учетом формулы (2) и табличных значений функции Лапласа:

- для машин сельскохозяйственного назначения надо исходить из вероятности безотказной работы  $P = 0,90-0,95$ , по таблице Лапласа находим:

$$u_1 = 1,65, u_2 = 1,96; \quad (3)$$

- примем значения среднеквадратических отклонений для момента проведения ТО и наработки на отказ запчастей  $\sigma_{то} = \sigma_{oi} = 1,67$  (рисунок 1);

- примем средние значение момента проведения ТО с учетом таблицы 1.

Таблица 2 – Диапазон средних значений наработки до отказа для запасных частей в зависимости от сроков проведения ТО (руководство для разработчиков зерноуборочных комбайнов)

$u_2$	$u_1$	$T_{ТО}$	$T_{ср1}$	$B_{ТО}$	$\sigma_{oi}$	$T_{ср2}$
1,96	1,65	65	68,89	1,67	1,67	69,63
1,96	1,65	125	128,89	1,67	1,67	129,63
1,96	1,65	185	188,89	1,67	1,67	189,63
1,96	1,65	245	248,89	1,67	1,67	249,63
1,96	1,65	305	308,89	1,67	1,67	309,63
1,96	1,65	365	368,89	1,67	1,67	369,63
1,96	1,65	405	408,89	1,67	1,67	409,63

В данном случае конструкторскому бюро следует создавать запасные части, у которых средние значения наработки до отказа  $T_{ср}$ ,  $\sigma_{oi}$ , с учетом таблицы 1, будут соответствовать срокам проведения ТО, таблица 3.

Таблица 3 – Средние значения наработки до отказа для запасных частей в зависимости от сроков проведения ТО (для заданных показателей точности)

№ п/п	Вид ТО	Сроки проведения ТО, ч	$T_{ср1}$	$T_{ср2}$
1	ТО-1	60	68,89	69,63
2	ТО-1	120	128,89	129,63
3	ТО-1	180	188,89	189,63
4	ТО-2	240	248,89	249,63
5	ТО-1, надо убирать кукурузу	300	308,89	309,63
6	ТО-1, надо убирать подсолнечник	360	368,89	369,63
7	ТО-1, и т.д.	400	408,89	409,63

Аналогично могут быть получены расчетные значения средней наработки до отказа для любых запасных частей сложных сельскохозяйственных машин на установленные техническими условиями сроки эксплуатации, в соответствие со сроками проведения очередных ТО, с учетом обоснованных показателей точности.

**Выводы.**

В результате проведенного анализа противоречий между потребителем и производителем сложных сельскохозяйственных машин, в

вопросах повышения эксплуатационной надежности машин, предлагается метод основанный:

- на необходимости размещения в сервисных книжках или в приложениях к ним сроков замены для всех запчастей, привязывая их к срокам проведения ТО, исходя из выбранного интервала проведения ТО (рисунок 1) и значений ВБР (3);
- доведении КБ заводов-изготовителей в своей работе кратности ТО средних значений наработки до отказа для всех запчастей;
- строгом соблюдении дилерами и сельхозпроизводителями сроков замены запчастей;
- возможности получать расчетные значения средней наработки до отказа для любых запасных частей сложных сельскохозяйственных машин на любые сроки эксплуатации, что не исключает использования дополнительных дублирующих методов, например, с учетом экономических условий.

## Литература

1. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2016. - 30 с.
2. Царев Ю.А., Адамчукова Е.Ю., Белоусов С.В., Мельников Д.Г. Сервисная книжка или как повысить надежность сложной сельскохозяйственной техники // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 161. С. 290-297.
3. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности / Пер. с англ. // Под ред. Б. В.Гнденко. - М.: Сов.радио, 1969. - 488 с.
4. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. - М.: Наука, 1956. - 524 с.
5. Ллойд Л., Липов М. Надежность: организация исследования, методы, математический аппарат. - М.: Сов. радио, 1964. - 688 с.

## References

1. GOST 27.002-2015. Nadezhnost` v texnike. Terminy` i opredeleniya. – M.: Standartinform, 2016. - 30 s.
2. Czarev Yu.A., Adamchukova E.Yu., Belousov S.V., Mel`nikov D.G. Servisnaya knizhka ili kak povu`sit` nadezhnost` slozhnoj sel`skoxozyajstvennoj texniki // Politematicheskij setevoj e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 161. S. 290-297.

3. Barlou R., Proshan F. Matematicheskaya teoriya nadezhnosti / Per. s angl. // Pod red. B. V.Gndenko. - M.: Sov.radio, 1969. - 488 s.
4. Gnedenko B.V., Belyaev Yu.K., Solov`ev A.D. Matematicheskie metody` v teorii nadezhnosti. - M.: Nauka,1956. - 524 s.
5. Lloid L., Lipov M. Nadezhnost`: organizaciya issledovaniya, metody`, matematicheskij apparat. - M.: Sov. radio, 1964. - 688 s.