

**Мисун Л.В.**, доктор технических наук, профессор;  
**Мисун А.Л.; Круглый П.Е.**, кандидат технических наук, доцент  
*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный  
технический университет» г. Минск Республика Беларусь*

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ**

**Аннотация.** В статье представлены сведения о результатах исследований эксплуатационной безопасности кормоуборочных комбайнов, включая и оценку их эксплуатационной надежности.

**Ключевые слова:** кормоуборочный комбайн, эксплуатационная безопасность, эксплуатационная надежность, производственный травматизм, отказ детали, ремонтпригодность, работоспособность.

**Annotation.** The article presents information on the results of operational research -term security of forage harvesters , including an assessment of their operational reliability .

**Keywords:** forage harvester , operational safety , operational safety, occupational injuries , parts failure, maintainability , operability.

**Введение.** Развитие жизненно важной отрасли народного хозяйства страны – животноводства – немислимо без создания прочной кормовой базы. В общем объеме заготавливаемых кормов подавляющую часть (более 60%) занимают измельченные, производство которых осуществляется кормоуборочными комбайнами (таблица 1), осуществляющими операции кошения, измельчения и погрузки измельченной массы в транспортные средства. В большинстве случаев кормоуборочный комбайн является универсальной сельскохозяйственной машиной, так как используется на заготовке силоса, сенажа, зеленой подкормки, растительного материала для последующего приготовления травяной муки, гранул, брикетов.

**Основная часть.** Следует однако отметить, что на долю комбайнов приходится свыше 30% случаев производственного травматизма, отмеченных при эксплуатации мобильных сельскохозяйственных машин. При этом большая часть травм происходит от вредных и опасных факторов, проявляющихся при

устранении отказов и технологических регулировок кормоуборочного комбайна.

Таблица 1 – Парк кормоуборочных комбайнов и универсальных энергетических средств с кормоуборочными адаптерами в Республике Беларусь

Марка кормоуборочного комбайна (страна – изготовитель)	Всего кормоуборочной техники в РБ	В том числе по областям					
		Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская
КВК – 800 «Полесье» (РБ)	1077	189	337	236	117	165	33
К-Г-6 «Полесье» (РБ)	1237	169	187	223	152	257	249
«Джон-Дир» (всех модификаций) (Германия)	158	5	3	1	53	68	28
«Клаас Ягуар» (всех модификаций) (Германия)	506	138	44	62	129	61	72
УЭС-2-250 А с кормоуборочными адаптерами (РБ)	1425	261	146	203	164	428	223
<b>Итого:</b>	<b>4457</b>	<b>769</b>	<b>719</b>	<b>733</b>	<b>626</b>	<b>1005</b>	<b>605</b>

Большинство исследований безопасности функционирования мобильной сельскохозяйственной техники (МСХТ) сводится к повышению безопасности лишь конструкции и технологической надежности машины. Повышать безопасность МСХТ можно за счет улучшения конструктивных параметров самого технического средства на стадии проектирования, что позволяет снизить травматизм и заболеваемость операторов МСХТ на 30..40%. Однако это уже никак не влияет на безопасность эксплуатации уже имеющейся кормоуборочной техники в сельском хозяйстве. Повышение эксплуатационной безопасности кормоуборочных комбайнов может быть достигнуто путем повышения надежности узлов, механизмов и органов комбайна, улучшения уровня его приспособленности к управлению технологическим процессом, в том числе и при устранении эксплуатационных отказов.

Для проведения экспериментальных исследований эксплуатационной безопасности кормоуборочных комбайнов, включая

и оценку их эксплуатационной надежности, подбирались агропредприятия, которые по своим почвенно-климатическим условиям являются характерными для Республики Беларусь, имеют квалифицированные кадры и достаточную техническую оснащенность. С учетом вышеизложенных условий были выбраны следующие агропредприятия Минской области: ОАО «Гастелловское», ОАО «1-я Минская птицефабрика», ОАО «Мядельский райагросервис», РСДУП «Экспериментальная база «Зазерье» РУП НПЦ НАН Беларуси, ОАО «Агро-Оберег», ОАО «Голоцк», ОАО «Зазерка», ЧСУП «Дукора-Агро».

Для сбора статистической информации в агропредприятиях были организованы хронометражные наблюдения за работой и обслуживанием кормоуборочных комбайнов в период уборки 2014-2015 г.г. Данные хронометража заносились в сводную форму и одновременно проводилась классификация отказов по группам сложности. Отказы, которые устраняют регулировкой, заменой или ремонтом деталей, входящих в комплект запасных частей, без разборки узлов и агрегатов, инструментом прилагаемым к комбайну, относились к первой группе [1]. Ко второй группе относились отказы, устраняемые регулировкой, заменой или ремонтом деталей не входящих в комплект запасных частей с разборкой узлов и агрегатов, а также с применением передвижных ремонтных мастерских (МРП). Отказы, для устранения которых необходимо произвести демонтаж узлов и агрегатов с рамы комбайна или полностью заменить один из них, относились к третьей группе сложности.

Отказ детали, вызвавший полную или частичную потерю работоспособности других деталей, регистрировался как один, при этом группу сложности определяли по наибольшей трудоемкости восстановления одной из отказавших деталей [2].

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась следующим образом: по опытным данным строилось эмпирическое распределение; вычислялись параметры эмпирического распределения; формировалась гипотеза о виде закона распределения исследуемой случайной величины; по принятому теоретическому закону производилось выравнивание эмпирической кривой; по критериям согласия сравнивались эмпирическое и теоретическое распределения и на основании этого выносилось решение о принятии или отвержении выдвинутой гипотезы. При большом объеме выборки – количестве зарегистрированных отказов ( $W > 30$ ), сначала строился статистический вариационный ряд, а затем вычислялись оценки численных характеристик.

Вид потока требований на обслуживание, который поступает от парка кормоуборочных комбайнов, а также количественные его характеристики вместе с распределением времени восстановления работоспособности имеют важнейшее значение для формирования резерва составных частей кормоуборочных комбайнов. О том, что потоки отказов, поступившие от кормоуборочных комбайнов носят случайный характер говорит следующее. Например, в агропредприятиях Пуховичского района Минской области от находившихся под наблюдением в 2015 г., шести комбайнов КВК-800 «Полесье» поступало в сутки от 0 до 8 отказов всех групп сложности (таблица 2). Также случайный характер носили потоки отказов, поступившие за сутки и от других 22 наблюдаемых комбайнов.

Экспериментальный материал позволил также исследовать кормоуборочные комбайны на ремонтпригодность, т.е. выявить характер распределения времени восстановления их работоспособности (таблица 2). Среднее время восстановления работоспособности, например, кормоуборочных комбайнов КВК-800 («Полесье») составило 1,53 ч (таблица 3).

Проверка по критерию Пирсона согласованности статистического распределения с теоретическим показала, что выдвинутая гипотеза о распределении времени восстановления работоспособности кормоуборочных комбайнов по экспоненциальному закону не противоречит полученному экспериментальному материалу.

При решении задач, связанных с обеспечением эффективного и безопасного обслуживания кормоуборочных комбайнов, необходимо перейти от параметра потока, идущего от парка кормоуборочного комплекса, к параметру потока отказов одного комбайна за один час работы ( $\lambda$ ):

$$\lambda = \frac{\Lambda}{m \cdot \Psi_{cm} \cdot K_{cm} t_{cm}}, \quad (1)$$

где  $\Lambda$  – параметр потока отказов (среднее число отказов поступивших за сутки):

$$\Lambda = \frac{W}{T},$$

$W$  – общее число отказов поступивших от комбайна за  $T$  суток;  
 $m$  – общее число комбайнов;  $\psi$  – коэффициент использования времени смены (принимается  $\psi = 0,7$ );  $K_{cm}$  – коэффициент сменности ( $K_{cm} = 1,3$ );  $t_{cm}$  – продолжительность смены ( $t = 7$  ч).

Таблица 2. – Поток требований на обслуживание кормоуборочных комбайнов КВК-800 «Полесье» (хозяйства Пуховичского района, 2015 г.; отказы 1-й, 2-й и 3-й групп)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество поступивших требований в сутки к, шт.	Число суток с требованиями поступивших в зону кТ <sub>к</sub> , шт.	Число требований поступивших за зону кТ <sub>к</sub> , шт.	Частота поступления требований в сутки о <sub>к</sub>	Теоретическая вероятность поступления в сутки Р <sub>к</sub>	Теоретическое число суток с требованиями к ми ТР <sub>к</sub> , шт.	Теоретическое число требований поступивших за зону кТ <sub>к</sub> , шт.	$ T_k - TP_k $	$(T_k - TP_k)^2$	$\frac{(T_k - TP_k)^2}{TR_k}$
0	0	0	0	0,0202	1,273	0			
1	5	5	0,079	0,0789	4,971	4,971	1,244	1,547	0,248
2	7	14	0,111	0,1539	9,696	19,392	2,696	7,268	0,750
3	10	30	0,159	0,2001	12,606	37,818	2,606	6,791	0,538
4	22	88	0,349	0,1951	17,974	61,896	4,026	16,209	0,902
5	9	45	0,143	0,1522	9,589	47,945	0,589	0,347	0,036
6	7	42	0,111	0,0989	6,231	37,386	0,769	0,591	0,095
7	2	14	0,032	0,0551	3,471	24,297	1,471	2,164	0,623
8	1	8	0,016	0,0269	1,695	13,560			
9	0	0	0	0,0116	0,731	0,658			
10	0	0	0	0,0045	0,283	2,830			
11	0	1	0	0,0016	0,101	1,111	1,854	3,437	1,204
12	0	0	0	0,0005	0,031	0,372			
13	0	0	0	0,0002	0,013	0,169			
Итого:	Г=63	W=246	1,000	0,9997	68,665	252,405			4,396

$\Lambda = 3,9;$   
 $P(\chi^2 \geq \chi^2_{\text{выч}}) = 0,60 > 0,05$   
 Не противоречит

m = 6 шт.

Характеристика потоков отказов и восстановлений отечественных марок кормоуборочных комбайнов, находившихся под наблюдением, приведены в таблице 4.

Таблица 3 – Статистические вариационные ряды времени восстановления кормоуборочных комбайнов КВК-800 «Полесье» (хозяйства Пуховичского района; 2015 г.; отказы 1, 2 и 3 групп)

№ интервала	Границы интервала	Середина интервала в долях $t_{cp}$	Середина интервала $t_i$ , ч	Частота интервала $W_i$	Накопленная частота $\Sigma W_i$ , ч	$t_i W_i$	$\bar{F}(t)$	$F(t)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0...0,5	0,168	0,25	81	81	20,25	0,329	0,155
	0,5...1,0	0,503	0,75	44	125	33,00	0,508	0,395
	1,0...1,5	0,839	1,25	26	151	32,50	0,614	0,568
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1,5...2,0	1,174	1,75	22	173	38,50	0,703	0,691
	2,0...2,5	1,510	2,25	17	190	38,25	0,772	0,779
	2,5...3,0	1,846	2,75	14	204	38,50	0,829	0,342
	3,0...3,5	2,181	3,25	12	216	39,00	0,878	0,887
	3,5...4,0	2,517	3,75	10	226	37,50	0,919	0,919
	4,0...4,5	2,852	4,25	8	234	34,00	0,951	0,942
	4,5...5,0	3,188	4,75	7	241	33,25	0,980	0,959
	5,0...6,5	3,859	5,75	3) 2) 5	244	17,25	0,992	0,979
	6,5...8,0	4,866	7,25		246	14,50	1,000	0,992
<b>Итого:</b>	-	-	-	W=246	-	376,50	-	-

$$t_{cp} = 1,53 \text{ ч}$$

$F_n(t)$	$F_e(t)$	Теоретическая вероятность i-го интервала $P_i$	Теоретическая частота i-го интервала $WP_i$		$ W_i - WP_i $	$(W_i - WP_i)^2$	$\frac{(W_i - WP_i)^2}{WP_i}$
10	11	12	13		14	15	16
0,143	0,166	0,284	69,864		11,136	124,010	1,775
0,371	0,421	0,203	49,938		5,938	35,260	0,706
0,538	0,598	0,145	35,670		9,670	93,509	2,621
0,660	0,721	0,104	25,584		3,584	12,845	0,502
0,751	0,806	0,074	18,204		1,204	1,450	0,0080
0,817	0,866	0,053	13,038		0,962	0,925	0,071
0,866	0,907	0,038	9,348		2,652	7,033	0,753
3,901	0,935	0,027	6,642		3,358	11,276	1,698
0,927	0,955	0,019	4,674		3,326	11,062	2,367
0,947	0,969	0,014	3,444		3,556	12,645	3672
3,971	0,985	0,021	5,166	7,134	2,134	4,554	0,638
0,989	0,995	0,008	1,968				
<b>Итого</b>	-	0,990	243,54		-	-	14,883

$$r_1 = 1,09; \quad t_{cp}^e = 1,67ч; \quad P(\chi^2 \geq \chi^2_{выч}) = 0,15 > 0,05$$

$$r_3 = 0,92; \quad t_{cp}^H = 1,41ч. \quad \text{Не противоречит}$$

Таблица 4 – Характеристика потоков отказов восстановлений кормоуборочных комбайнов

Марка комбайна	Параметр потока отказов $\lambda$ , 1/ч	Среднее время восстановления $t_{cp}$ , ч	Приведенная плотность потока, $\rho_t$
КВК-800 «Полесье»	0,102	1,53	0,156
К-Г-6 «Полесье»	0,106	1,49	0,158

**Заключение.** Анализ полученных результатов показал, что значение параметра приведенной плотности потока отказов, характеризующего как оперативность ремонтной службы, так и вероятность травмоопасности при восстановлении работоспособности кормоуборочных комбайнов, составляет 0,156...0,158, а параметр потока отказов – 0,102...0,106.

#### Список использованной литературы

1.ГОСТ 52778-2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки.

ГОСТ 20793-2009. Тракторы и машины сельскохозяйственные. Техническое обслуживание.