

УДК 658.35:67

ПРОГНОЗИРУЕМАЯ ТРАВМООПАСНОСТЬ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

А.Л. МИСУН

(Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск)

Представлены результаты экспериментальных исследований по установлению параметра приведенной плотности отказов кормоуборочных комбайнов, характеризующего вероятность травмоопасной ситуации при восстановлении их работоспособности. Получено значение параметра приведенной плотности потока отказов кормоуборочных комбайнов, характеризующее как вероятность травмоопасной ситуации при восстановлении работоспособности комбайнов, так и оперативность выполнения ремонтных работ. На основе анализа результатов проведенного исследования для улучшения условий труда, защиты операторов мобильной сельскохозяйственной техники от опасных и вредных факторов производственной среды разработаны инженерно-технические решения.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, кормоуборочный комбайн, безопасность труда, профессиональная подготовка.

Введение. Развитие такой жизненно важной отрасли народного хозяйства страны, как животноводство, невозможно без создания прочной кормовой базы. В общем объеме заготавливаемых кормов подавляющую часть (более 60%) занимают измельченные, их производство осуществляется кормоуборочными комбайнами, парк которых в Республике Беларусь составляет более 4 тысяч единиц (табл. 1). В технологическом процессе кормопроизводства они осуществляют операции кошения, измельчения и погрузки измельченной массы в транспортные средства. 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, и усиливается в условиях скоротечности уборочных работ и опасности принятия оператором мобильной сельскохозяйственной техники (МСХТ) ошибочной или запоздалой оценки технического состояния комбайна [1].

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

Марка кормоуборочного комбайна (страна-изготовитель)	Всего кормоуборочной техники в республике	В том числе по областям					
		Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская
КВК-800 «Полесье» (Беларусь)	1077	189	337	236	117	165	33
К-Г-6 «Полесье» (Беларусь)	1237	169	187	223	152	257	249
«Джон-Дир» всех модификаций (Германия)	158	5	3	1	53	68	28
«Нью-Холланд» типа FX всех модификаций (Бельгия)	54	7	2	8	11	26	–
«Клаас Ягуар» всех модификаций (Германия)	506	138	44	62	129	61	72
УЭС-2-250 А с кормоуборочными адаптерами (Беларусь)	1425	261	146	203	164	428	223
Итого:	4457	769	719	733	626	1005	605

Основная часть. Проведенный за двадцатилетний период анализ статистических данных Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Министерства труда и социальной защиты, литературных источников позволил выявить причинно-следственную связь производ-

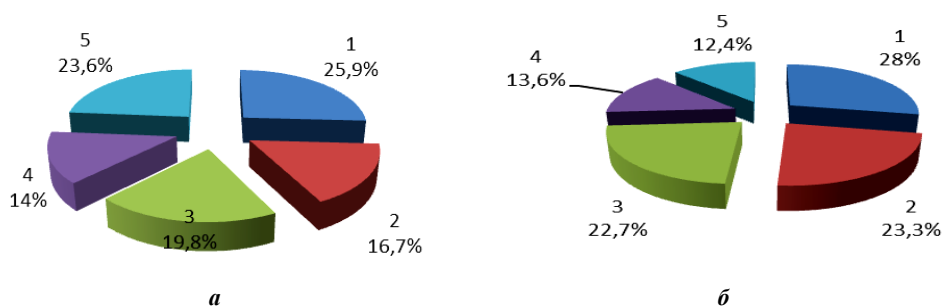
ственного травматизма в агропромышленном комплексе Республики Беларусь. Установлены следующие закономерности:

- наиболее травмоопасной отраслью сельскохозяйственного производства является растениеводство (плюс переработка сельскохозяйственной продукции) – 28% от всех случаев травматизма в агропромышленном комплексе с тяжелым исходом, около 26% со смертельным (рис. 1);

- наибольшее число пострадавших с тяжелым исходом относится к таким профессиям, как тракторист-машинист, комбайнер, механизатор, о чем свидетельствует рисунок 2;

- к числу наиболее травмоопасных технологических процессов производства продукции растениеводства относится заготовка кормов – травматизм классифицируется как «значительный» в сравнении с другими видами профессиональной деятельности работников АПК и составляет 25%, тогда как при почвообработке – 11,9%, уборке корнеклубнеплодов 8,4% [2];

- уровень опасности профессиональных рисков для операторов МСХТ (тракториста-машиниста, комбайнера, механизатора) классифицируется как «катастрофический» [2].



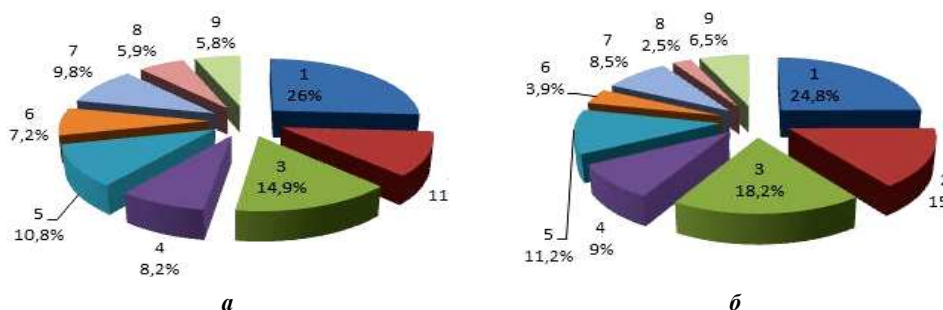
а – со смертельным исходом; б – с тяжелым исходом;

1 – растениеводство и переработка сельскохозяйственной продукции;

2 – ремонтные работы, техническое обслуживание, постановка техники на хранение;

3 – животноводство; 4 – строительство в АПК; 5 – прочие, в том числе дорожно-транспортные происшествия

Рисунок 1 – Распределение несчастных случаев по отраслям сельскохозяйственного производства АПК Республики Беларусь



а – со смертельным исходом; б – с тяжелым исходом;

1 – трактористы-машинисты, механизаторы, комбайнеры;

2 – бригадиры, рабочие полеводы, агрономы, операторы зерносушильных комплексов;

3 – доярки, скотники, пастухи, зоотехники, животноводы; 4 – прорабы, маляры, каменщики, строители;

5 – слесари, газосварщики, станочники, токари, плотники, столяры; 6 – сторожа, грузчики, кочегары;

7 – водители; 8 – инженеры, электрики; 9 – прочие (бухгалтеры, кассиры, кладовщики и др.)

Рисунок 2 – Распределение несчастных случаев «по профессиям» пострадавших в АПК Республики Беларусь (2004–2015 гг.)

В большинстве случаев для анализа безопасности труда операторов МСХТ используется коэффициент частоты травматизма ($K_{\text{ч}}$), рассматриваемый как статистическая оценка вероятности того, что произошло травмирование работника. При этом прогнозирование параметров безопасности труда зачастую не обосновывается количественными их характеристиками, а позволяет установить лишь тенденции изменения состояния производственного процесса, что является лишь промежуточной задачей оценки безопасности труда. Наиболее приемлемым, на наш взгляд, должно быть определение количества возможных опасных ситуаций по вероятности отказов техники и, как следствие, вероятности нахождения работника в опасной производственной зоне. Положительными моментами такого подхода является чет-

кое отражение состояния производственной безопасности «человеко-машинной» системы, а сбор и обработка необходимого для этого статистического материала не требует больших финансовых затрат.

Для проведения хронометражных наблюдений, сбора статистической информации о безопасности труда оператора кормоуборочных комбайнов были подобраны агропредприятия, которые по своим почвенно-климатическим условиям являются характерными для Республики Беларусь, имеют квалифицированные кадры и достаточную техническую оснащенность. Установлены методом экспертных оценок наиболее значимые факторы, влияющие на безопасность труда оператора МСХТ, – это профессиональная его подготовка, травмоопасность используемого технического средства и уровень условий труда на рабочем месте.

Для изучения влияния профессиональной подготовки на безопасность труда учитывалось наличие у операторов специального образования, стаж практической работы, возраст. Корректировался этот показатель с учетом результатов тестирования работников (тест «механической понятливости “Беннета”»). Обработка полученных статистических данных показала, что математическое ожидание случайной величины (в нашем случае показателя профессиональной подготовки оператора МСХТ), равное 0,63, соответствует «среднему» уровню искомого показателя.

Статистическая обработка экспериментальных данных по отказам комбайнов и, как следствие, возможным травмоопасным ситуациям 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 сравнивалось эмпирическое и теоретическое распределение и на основании этого выносились решения о принятии или исключении выдвинутой гипотезы. При большом объеме выборки – количестве зарегистрированных отказов ($W > 30$) – сначала строился статистический вариационный ряд, а затем вычислялись оценки числовых характеристик.

Вид потока требований на обслуживание, который поступает от парка кормоуборочных комбайнов, а также количественные его характеристики вместе с распределением времени восстановления работоспособности особенно важны для прогнозирования вероятности травмоопасности при восстановлении работоспособности 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 году шести комбайнов КВК-800 «Полесье» поступало в сутки до 8 отказов всех групп сложности (табл. 2). Случайный характер носили потоки отказов, поступившие за сутки и от других 16 наблюдаемых комбайнов.

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

Количество поступивших требований в сутки k , шт.	Число суток с k требованиями (частота поступления) T_k		Число требований k , поступивших за сезон T_k , шт.		Частота поступления требований в сутки, ω_k	Теоретическая вероятность поступления k требований в сутки P_k	Теоретическое число суток с k требованиями TP_k , шт.	Теоретическое число требований k , поступивших за сезон kT_k , шт.	$ T_k - TP_k $	$(T_k - TP_k)^2$	$\frac{(T_k - TP_k)^2}{TP_k}$
0	0	0	0	0	0,0202	1,273	0				
1	5	5	5	5	0,079	0,0789	4,971	4,971	1,244	1,547	0,248
2	7	14	14	14	0,111	0,1539	9,696	19,392	2,696	7,268	0,750
3	10	30	30	30	0,159	0,2001	12,606	37,818	2,606	6,791	0,538
4	22	88	88	88	0,349	0,1951	17,974	61,896	4,026	16,209	0,902
5	9	45	45	45	0,143	0,1522	9,589	47,945	0,589	0,347	0,036
6	7	42	42	42	0,111	0,0989	6,231	37,386	0,769	0,591	0,095
7	2	14	14	14	0,032	0,0551	3,471	24,297	1,471	2,164	0,623
8	1	8	8	8	0,016	0,0269	1,695	13,560			
9	0	0	0	0	0,0116	0,0116	0,731	0,658			
10	0	0	0	0	0,0045	0,0045	0,283	2,830			
11	0	1	0	8	0	0,0016	0,101	1,111	1,854	3,437	1,204
12	0	0	0	0	0,0005	0,0005	0,031	0,372			
13	0	0	0	0	0,0002	0,0002	0,013	0,169			

$\Lambda = 3,9$ шт.; $P = (P(\chi^2 \geq \chi^2_{\text{выч}}) = 0,60 > 0,05)$
 $m = 6$ шт.; не противоречит

Экспериментальный материал позволил выявить и необходимый для оценки простоев техники характер распределения времени восстановления работоспособности кормоуборочных комбайнов.

Так, среднее время восстановления работоспособности, например, кормоуборочных комбайнов КВК-800 «Полесье» составило 1,53 ч (табл. 3).

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 ΣW , ч	$t_i W_i$	$\bar{F}(t)$	$F(t)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0...0,5	0,168	0,25	81	81	20,25	0,329	0,155
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	0,5...1,0	0,503	0,75	44	125	33,00	0,508	0,395
3	1,0...1,5	0,839	1,25	26	151	32,50	0,614	0,568
4	1,5...2,0	1,174	1,75	22	173	38,50	0,703	0,691
5	2,0...2,5	1,510	2,25	17	190	38,25	0,772	0,779
6	2,5...3,0	1,846	2,75	14	204	38,50	0,829	0,342
7	3,0...3,5	2,181	3,25	12	216	39,00	0,878	0,887
8	3,5...4,0	2,517	3,75	10	226	37,50	0,919	0,919
9	4,0...4,5	2,852	4,25	8	234	34,00	0,951	0,942
10	4,5...5,0	3,188	4,75	7	241	33,25	0,980	0,959
11	5,0...6,5	3,859	5,75	3 } 2 } ⁵	244	17,25	0,992	0,979
12	6,5...8,0	4,866	7,25		246	14,50	1,000	0,992
Итого:	–	–	–	$W = 246$	–	376,50	–	–
$t_{cp} = 1,53$ 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 } 1,968 } ^{7,134}	2,134	4,554	0,638		
0,989	0,995	0,008						
Итого:	–	0,990	243,54	–	–	14,883		

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

$$r_3 = 0,92; \quad t_{cp}^u = 1,41 \text{ ч}; \quad \text{не противоречит}$$

Проверка по критерию Пирсона (хи-квадрат) согласованности статистических распределений с теоретическим показала, что выдвинутые гипотезы о распределении потока требований на обслуживание и времени восстановления работоспособности кормоуборочных комбайнов соответственно по законам Пуассона (рис. 3) и экспоненциальному (рис. 4).

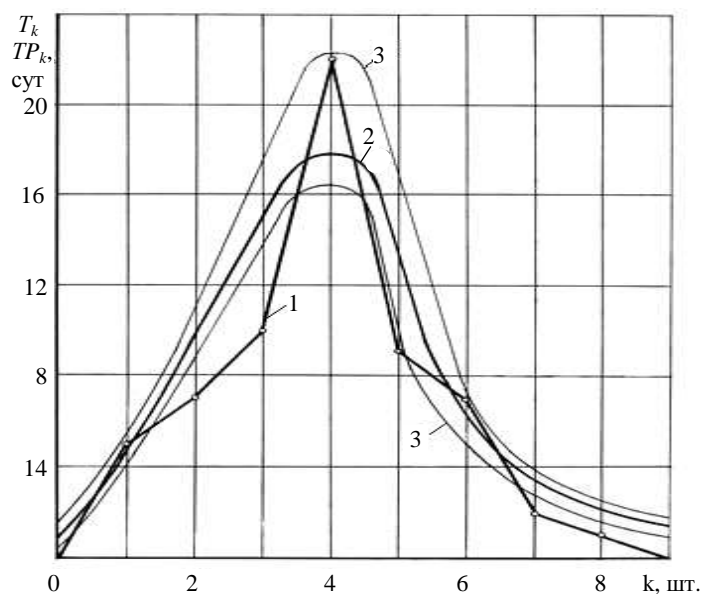


Рисунок 3 – Экспериментальное (1), теоретическое (2) распределения и доверительные границы (3) потока требований на обслуживание кормоуборочных комбайнов агропредприятий Пуховичского района Минской области (2015 г.)

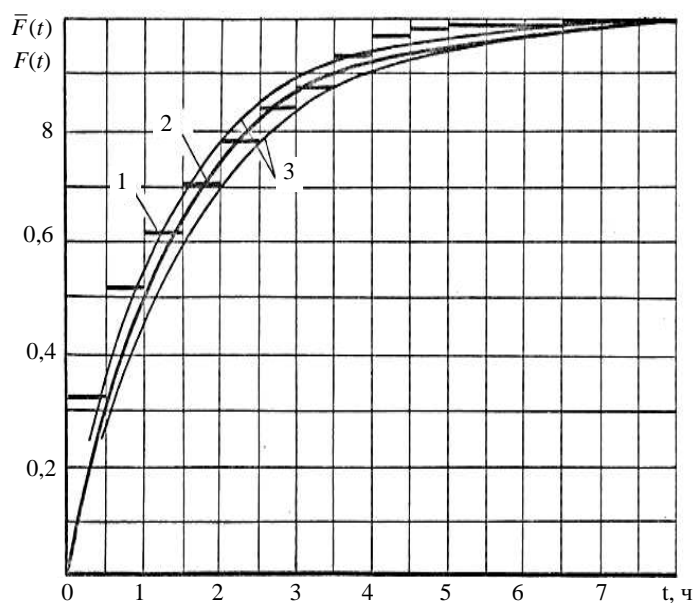


Рисунок 4 – Гистограмма (1), функция распределения (2) и доверительные границы (3) времени восстановления кормоуборочных комбайнов агропредприятий Пуховичского района Минской области (2015 г.)

Анализ результатов исследований показал, что среднее значение параметра приведенной плотности потока отказов, используемого для оценки вероятности травмоопасности при восстановлении работоспособности кормоуборочных комбайнов, для отечественной техники составляет 0,157, что в 1,3 раза выше, чем, например, для кормоуборочных комбайнов «Клаас Ягуар».

Для улучшения условий труда, защиты операторов МСХТ от опасных и вредных факторов производственной среды разработаны инженерно-технические решения, подтвержденные патентами Республики Беларусь [3–5].

Заклучение. В результате проведенных исследований получено значение параметра приведенной плотности потока отказов кормоуборочных комбайнов, характеризующее как вероятность травмо-

опасной ситуации при восстановлении работоспособности комбайнов, так и оперативность выполнения ремонтных работ. На основе полученного экспериментального материала выявлен характер распределения времени восстановления работоспособности кормоуборочных комбайнов, необходимого для оценки простоев техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азаренко, В.В. Исследование причин и условий возникновения опасной ситуации в процессе уборки кормовых культур / В.В. Азаренко, А.Л. Мисун // Весті нац. акад. навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2015. – № 4. – С. 105–112.
2. Пиуновский, И.И. Травматизм работников сельхозпредприятий при производстве продукции растениеводства / И.И. Пиуновский, А.В. Молош // Охрана труда. Сельское хозяйство. – 2013. – № 1. – С. 91–97.
3. Безопасное сидение транспортного средства: пат. 16448 Республики Беларусь на изобретение, МПК (2006.01) В 60N2/06 / Л.В. Мисун, А.Л. Мисун, А.В. Агейчик, В.А. Агейчик; заявитель Белор. гос. аграрн. технич. ун-т. – № а 20100541; заявл. 09.04.2010; опубл. 30.10.2012 // Афіц. бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласн. – 2012. – № 5. – С. 69.
4. Кабина транспортного средства: пат. 16676 Республики Беларусь на изобретение, МПК (2006.01) В 62 Д 33/06, В 60 S 1/56 / Л.В. Мисун, А.Л. Мисун, А.В. Агейчик, В.А. Агейчик; заявитель Белор. гос. аграрн. технич. ун-т. – № а 20101173; заявл. 02.08.2010; опубл. 30.12.2012 // Афіц. бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 6. – С. 94–95.
5. Подвеска сидения транспортного средства: пат. 17141 Республики Беларусь на изобретение, МПК (2006.01) В 60 N 2/50 / Л.В. Мисун, А.Л. Мисун, А.В. Агейчик, В.А. Агейчик; заявитель Белор. гос. аграрн. технич. ун-т. – № а 20101444; заявл. 07.10.2010; опубл. 30.06.2013 // Афіц. бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 3. – С. 68.

Поступила 05.02.2016

THE PREDICTED INJURY RISK AT MAINTENANCE OF FORAGE HARVESTERS

A. MISUN

Results of pilot studies on establishment of the parameter of the specified density of failures of forage harvesters characterizing probability of an injury-causing situation at restoration of their working capacity are presented. The value of parameter of the specified density of a stream of failures of forage harvesters characterizing as probability of an injury-causing situation at maintenance of combines, and efficiency of performance of repair work is received. On the basis of the analysis of results of the conducted research for improvement of working conditions, protection of operators of mobile agricultural machinery against dangerous and harmful factors of the production environment are developed technical decisions.

Keywords: pilot studies, forage harvester, safety of work, vocational training.