

МАШИНОВЕДЕНИЕ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 631.3:658.345

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ С.-Х. МАШИН В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ ПО ИХ ПОКАЗАТЕЛЮ ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕГУЛИРОВОК

А.Л. МИСУН

(Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск)

Проанализирована травмоопасность по видам производственной деятельности в растениеводческой отрасли АПК. Определены для различных по своему функциональному назначению технических средств, используемых в растениеводстве, показатели их безопасной эксплуатации (приспособленность технического средства к технологической регулировке, безопасность ее выполнения, риск травмирования работника и др.).

Ключевые слова: производственный риск, безопасность, приспособленность к технологическим регулировкам, технические средства, растениеводческая отрасль.

Введение. Для проведения исследований по оценке безопасности эксплуатации технических средств, используемых в растениеводческой отрасли АПК, были выбраны с учетом статистических данных [1] наиболее травмоопасные виды производственной деятельности (таблица 1) и соответствующие новые технические разработки отечественного производства. Точность оценки безопасности технических средств существенно зависит от количества экспертов и их квалификации. Уменьшение числа экспертов приводит к снижению точности оценки, а при слишком большом их количестве становится сложнее выявлять их согласованное мнение.

Таблица 1. – Оценка травмоопасности по видам производственной деятельности в растениеводческой отрасли АПК (1997–2019 гг.)

Вид производственной деятельности	Количество происшествий						
	всего случаев	%	случаев с тяжелым исходом	%	случаев со смертельным исходом	%	случаев в среднем за год
Уборка и послеуборочная обработка зерновых	414	36,0	295	36,3	119	35,3	18
Заготовка кормов	299	26,0	222	27,4	77	22,7	13
Обработка почвы, внесение удобрений, посев	138	12,0	82	10,0	56	16,7	6
Уборка картофеля и корнеплодов	92	8,0	70	8,6	22	6,5	4
Наезд транспортными средствами на людей	92	8,0	68	8,4	24	7,1	4
Прочие	115	10,0	76	9,3	39	11,7	5
Итого	1150	100	813	100	337	100	50

Основная часть. Для установления необходимого количества экспертов с целью оценки технических средств к безопасному выполнению технологических регулировок предположим, что величина среднего квадратического отклонения σ при малой выборке n равняется 1,5 единицам, и требуется, чтобы среднее арифметическое значение выборки \bar{X} находилось не далее чем на расстоянии одной единицы (в нашем случае условно примем один балл) от суммы μ (среднего значения оценки). Для нормального распределения это требование означает [2], что половина ширины доверительного интервала, т.е. половина от

$$\left(\bar{X} + \frac{U_{1-\alpha/2} \cdot s}{\sqrt{n}} \right) - \left(\bar{X} - \frac{U_{1-\alpha/2} \cdot s}{\sqrt{n}} \right) = \frac{2u_{1-\alpha/2} \cdot s}{\sqrt{n}}$$

должна равняться 1. Это условие можно записать как

$$\frac{U_{1-\alpha/2} \cdot s}{\sqrt{n}} = 1,0.$$

Полагая, например, $a = 0,10$ при $\sigma = 1,5$, получаем [3]:

$$1,29 \cdot \frac{1,5}{\sqrt{n}} \quad \text{или} \quad n = \frac{(1,29 \cdot 1,5)^2}{1,0} \approx 4,0,$$

т.е. минимальный объем выборки (n) – количество экспертов для проведения исследований должно быть не менее четырех. При этом вероятность того, что выборочное среднее будет отличаться от среднего совокупности не более чем на один балл, составляет 90%. Эксперты тестировались, а затем полученные результаты тестов оценивались по обобщенному показателю ($K_{об}$), который рассчитывался как среднее арифметическое значение нормализованных оценок по результатам тестов (таблица 2).

Таблица 2. – Результаты тестирования предполагаемых экспертов

Номер кандидата в эксперты	Показатели профессионально-значимых качеств			Обобщенный показатель ($K_{об}$)
	X_1''	X_2''	X_3''	
1	0,929	0,917	0,880	0,909
2	0,957	0,917	0,960	0,945
3	0,929	0,833	0,840	0,867
4	0,914	1,000	0,960	0,958
5	0,929	0,833	0,880	0,881

Результаты расчета показали высокую согласованность мнений специалистов, оценивающих предполагаемых экспертов (коэффициент конкордации (W) равен 0,96). Обработка данных тестирования (таблица 3) позволила получить уравнение регрессии для оценки профессионально-значимых качеств у предполагаемых экспертов [4].

Экспертная оценка одного из показателей безопасной эксплуатации исследуемых технических средств – приспособленности технологических регулировок, проводилась отдельно как в целом по группам показателей (удобство, доступность, безопасность), так и по показателям внутри группы. Во всех случаях проверялась согласованность ранжировок друг с другом, для чего использовался коэффициент конкордации [5]:

$$W = \frac{12 \cdot S}{k^2 \cdot n(n-1)},$$

где S – сумма квадратов разностей (отклонений) между фактическими суммами рангов (j -го параметра у j -го эксперта) и их средним значением;

k – число экспертов;

n – число показателей.

Адекватность распределения ранжировок экспериментальных данных проверялась с использованием критерия Фишера (F) при выбранном уровне значимости и числах степеней свободы [6], а результаты проверки «нулевой» гипотезы для уровня доверия 0,95 приведены в таблице 3. Установлены незначительные отклонения фактических значений от регрессионных, также незначительна разница (0,021) положительных и отрицательных значений (таблица 4).

Таблица 3. – Результаты проверки «нулевой» гипотезы значимости профессиональной компетенции экспертов

Гипотеза	Уровень доверия	Статистика критерия	Значение квантили	Результаты
$\theta_0 = 0$	0,95	6,750	0,953	Нулевая гипотеза отвергается
$\theta_1 = 0$		2,120	0,991	
$\theta_2 = 0$		3,370	0,970	
$\theta_3 = 0$		2,700	0,984	

Таблица 4. – Показатель профессиональной компетентности предполагаемых экспертов

Номер кандидата в эксперты	Общая оценка специалистов, балл	Расчетный показатель профессиональной компетентности	Остатки
1	4	4,369	-0,369
2	5	4,632	0,368
3	4	4,143	-0,143
4	5	4,643	0,357
5	4	4,234	-0,234

Задачей дальнейших экспериментальных исследований было установление профессионально подготовленными экспертами приспособленности (удобства, доступности и безопасности) технологических регулировок рабочих органов технических средств для выполнения технологических процессов. В качестве объектов исследований были выбраны технические средства отечественного производства, используемые в растениеводческой отрасли АПК, в т.ч. платформа с манипулятором для транспортировки кормов ПМК-10, агрегат для распределения и уплотнения кормов в хранилищах АРУК-5, погрузчик-метатель зерна ПМЗ-100, агрегат широкозахватный комбинированный АКШ-9, агрегат почвообрабатывающий многофункциональный АПМ-6А, плуг 12-корпусный оборотный ПО-(8+4)-40, сеялка пневматическая С-9, культиватор рядовой КГ-1, рядоделатель навесной ГН-1, картофелесажалка СК-4, комбайн для уборки капусты КПК-1. Результаты сравнительного анализа экспертной оценки приспособленности технических средств к регулировкам показали, что наименее удобными являются регулировки давления сошников на почву, рыхлителей следа колес трактора и сеялки, тормозов колесного хода (сеялка пневматическая С-9). К наиболее труднодоступным можно отнести регулирование усилий догрузки боковых секций рабочих органов агрегата широкозахватного комбинированного АКШ-9, глубины хода рыхлительных лап (агрегат почвообрабатывающий многофункциональный АПМ-6А), ширины захвата первого корпуса плуга 12-корпусного оборотного ПО-(8+4)-40 и его настройка в режиме «вне борозды»; регулировка подшипников ступицы колеса и глубины хода сошников сеялки пневматической С-9, установки междурядья и угла атаки роторов, глубины обработки рабочим органом сеялки пневматической С-9; нормы высева посадочного материала и уровня заполнения высаживающих аппаратов картофелесажалки СК-4, длины среза кочерыжки комбайном для уборки капусты КПК-1 и др. Наиболее травмоопасными являются регулировки усилий догрузки боковых секций рабочих органов агрегата АКШ-9, ширины захвата первого корпуса плуга ПО-(8+4)-40, давления сошников на почву сеялки С-9, замены рабочих органов культиватора КГ-1, створы между делителями комбайна КПК-1 и некоторые др.

Для установления объективности оценки экспертов, исследуемых приспособленность технических средств к технологическим регулировкам, применялся метод [7], основанный на использовании интервальных оценок $\bar{\delta}_i$ и σ_i , где

$$\bar{\delta}_i = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{n} \quad \text{— систематическая составляющая погрешности;}$$

$\delta_i = x_i - x$ — погрешность оценки для каждого эксперта (x_i — текущая оценка; x — истинное значение оценки безопасности технического средства);

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i - \bar{\delta}_i)^2}{n-1}} \quad \text{— среднее квадратичное отклонение систематической ошибки.}$$

Анализируя исходные данные выборки, полагаем, что погрешность (δ_i) подчиняется нормальному закону распределения случайной величины x . Введем нечеткое множество реалистичности оценок R и функцию $\mu = \mu_R(\bar{\delta}_i)$ принадлежности этого множества R [8]. Выбор функции принадлежности осуществляем исходя из информации о результатах оценивания

$$R = \int_{\delta_i \text{ нам.}}^{\delta_i \text{ наб.}} \frac{\mu_R(\bar{\delta}_i)}{\bar{\delta}_i} d\bar{\delta}_i$$

каждым экспертом

$$\mu_R(\bar{\delta}_i) = \begin{cases} 0, & \bar{\delta}_i < a_1, \\ \frac{\bar{\delta}_i - a_1}{b_1 - a_1}, & a_1 \leq \bar{\delta}_i < b_1, \\ \frac{c_1 - \bar{\delta}_i}{c_1 - b_1}, & b_1 \leq \bar{\delta}_i < c_1, \\ 0, & \bar{\delta}_i \geq c_1, \end{cases}$$

где a_1, b_1, c_1 — пределы экспертных оценок для расчета $\bar{\delta}_i$.

Принтегрировав $\mu = \mu_R(\bar{\delta}_i)$, получим выражение для множества R :

$$R = \frac{1}{b_1 - a_1} (\bar{\delta}_i - a_1 \ln|\bar{\delta}_i|) \Big|_{\bar{\delta}_{i \text{ наим.}}}^{b_1} + \frac{1}{c_1 - b_1} (c_1 \ln|\bar{\delta}_i| - \bar{\delta}_i) \Big|_{\bar{\delta}_{i \text{ наиб.}}}^{b_1} + \frac{1}{b_1 - a_1} (b_1 - \bar{\delta}_{i \text{ наим.}} - a_1 \ln|b_1| + a_1 \ln|\bar{\delta}_{i \text{ наиб.}}|) + \frac{1}{c_1 - b_1} (c_1 \ln|\bar{\delta}_{i \text{ наиб.}}| - \bar{\delta}_{i \text{ наиб.}} - c_1 \ln|b_1| + b_1).$$

С помощью функции принадлежности нечеткого множества рассчитывается коэффициент реалистичности оценок каждого эксперта k_i^* :

$$k_i^* = \frac{1}{\bar{d}_{i \text{ наиб.}} - \bar{d}_{i \text{ наим.}}} \left(\int_{\bar{d}_{i \text{ наим.}}}^{b_1} \frac{\bar{d}_i - a_1}{(b_1 - a_1)} d\bar{d}_i + \int_{b_1}^{\bar{d}_{i \text{ наим.}}} \frac{c_1 - \bar{d}_i}{(c_1 - b_1)} d\bar{d}_i \right) = \frac{1}{\bar{d}_{i \text{ наиб.}} - \bar{d}_{i \text{ наим.}}} \left(\frac{1}{b_1 - a_1} \left(\frac{b_1^2}{2} - a_1 b_1 - \frac{\bar{d}_{i \text{ наим.}}^2}{2} + a_1 \bar{d}_{i \text{ наим.}} \right) + \frac{1}{c_1 - b_1} \left(c_1 \bar{d}_{i \text{ наиб.}} - \frac{\bar{d}_{i \text{ наиб.}}^2}{2} - c_1 b_1 + \frac{b_1^2}{2} \right) \right).$$

Используя данные выборки оценок экспертов, получаем $k_3^* > k_2^* > k_1^*$.

Для нахождения стабильности оценок каждого эксперта составим нечеткое множество стабильных оценок T и функцию принадлежности этого множества:

$$T = \int_{\sigma_{i \text{ наим.}}}^{\sigma_{i \text{ наиб.}}} \frac{\mu_T(\sigma_i)}{\sigma_i} d\sigma_i.$$

$$\mu_T(\sigma_i) = \begin{cases} 0, & \sigma_i < a^*, \\ \frac{2(\sigma_i - a^*)^2}{(b^* - a^*)^2}, & a^* \leq \sigma_i < \frac{a^* + b^*}{2}, \\ 1 - \frac{2(\sigma_i - a^*)^2}{(b^* - a^*)^2}, & \frac{a^* + b^*}{2} \leq \sigma_i < b^*, \\ 1, & \sigma_i \geq b^*, \end{cases}$$

$$T = \frac{2}{(b^* - a^*)^2} \left(\frac{(a^* + b^*)^2}{8} - (a^* + b^*)a^* + (a^*)^2 \ln \left| \frac{a^* + b^*}{2} \right| - \frac{\sigma_{i \text{ наим.}}^2}{2} + 2a^* \sigma_{i \text{ наим.}} - (a^*)^2 \ln|\sigma_{i \text{ наим.}}| \right) + \ln|\sigma_{i \text{ наиб.}}| - \ln \left| \frac{a^* + b^*}{2} \right| - \frac{2}{(b^* - a^*)^2} \left(\frac{\sigma_{i \text{ наиб.}}^2}{2} - 2\sigma_{i \text{ наиб.}} a^* + (a^*)^2 \ln|\sigma_{i \text{ наиб.}}| - \frac{(a^* + b^*)^2}{8} + 2a^* \frac{a^* + b^*}{2} - (a^*)^2 \ln \left| \frac{a^* + b^*}{2} \right| \right),$$

где a^*, b^*, c^* – пределы экспертных оценок для расчета σ_i ,

$$k_{i \text{ наим.}}^* = \frac{1}{\sigma_{i \text{ наим.}} - \sigma_{i \text{ наиб.}}} \left(\int_{\sigma_{i \text{ наим.}}}^{\frac{a^* + b^*}{2}} \frac{2(\sigma_i - a^*)^2}{(b^* - a^*)^2} d\sigma_i + \int_{\frac{a^* + b^*}{2}}^{\sigma_{i \text{ наиб.}}} \left(1 - \frac{2(\sigma_i - a^*)^2}{(b^* - a^*)^2} \right) d\sigma_i \right).$$

Анализ средних квадратичных отклонений систематических ошибок для каждого эксперта ($\sigma_1 = 0,1806, \sigma_2 = 0,1762, \sigma_3 = 0,1800$) дал возможность оценить как коэффициенты стабильности выставленных ими оценок ($k_{2 \text{ стаб}}^* > k_{3 \text{ стаб}}^* > k_{1 \text{ стаб}}^*$), так и в целом констатировать, что предложенная балльная методика позволяет в достаточной степени объективно количественно взвесить тот или иной показатель приспособленности рассматриваемых технических средств к регулировкам с учетом требуемой компетентности привлекаемых для этого экспертов.

Также по результатам исследований был рассчитан [3] показатель безопасного управления технологическим процессом, определены зоны повышенной опасности при выполнении технологических регулировок рабочих органов (устранения отказов) технических средств, выделены те регулировки, риск травмирования при выполнении которых близок к предельному уровню. Это регулировка усилия догрузки боковых секций рабочих органов и глубины обработки почвы S-образными пружинными стойками с лапами на каждой секции (агрегат широкозахватный комбинированный АКШ-9), установки угла атаки роторов, междурядья и глубины обработки (культиватор грядовой КГ-1) и др. (таблица 5).

Таблица 5. – Показатели безопасности технических средств для возделывания сельскохозяйственных культур

Техническое средство (разработчик; год выпуска)	Наименование регулировки	Показатель приспособленности технологической регулировки средства ($K_{плн}$)		Показатель безопасности выполнения технологической регулировки средства ($K_{сп}$)		Риск травмирования оператора МСХТ (P_2) при выполнении регулировки, %		Уровень опасности производства риска при выполнении регулировки		Обобщенный показатель приспособленности технического средства к технологическим регуляторам ($K_{тм.с.}$)		Показатель безопасности управления технологическим процессом ($K_{спр}$)		Риск травмирования оператора технического средства ($P_{тс}$), %		Уровень опасности производства риска при использовании технического средства	
		3	4	5	6	7	8	9	10								
1. Агрегат для распределения уплотнения кормов в хранилищах АРУК-5 (РУП «ННЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2017 г.)	Подъем (опускание) распределителя кормов и катка уплотнителя	0,97	0,98	0,6	минимальный	0,90	0,94	1,1	минимальный	0,19	0,26	10,5	минимальный (граничный)				
	Привода распределяющих роторов	0,97	0,98	0,5	минимальный	0,90	0,94	1,1	минимальный	0,19	0,26	10,5	минимальный (граничный)				
	Подъем (опускание) одного из отражателей	0,97	0,98	0,5	минимальный	0,90	0,94	1,1	минимальный	0,19	0,26	10,5	минимальный (граничный)				
2. Платформа с манипулятором для транспортировки кормов ПМК-10 (РУП «ННЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2015 г.)	Управление краном подъема опускания левого или правого отражателя	0,74	0,84	5,8	минимальный	0,90	0,94	1,1	минимальный	0,19	0,26	10,5	минимальный (граничный)				
	Регулировка подшипников ступиц колес	0,36	0,47	6,4	минимальный	0,90	0,94	1,1	минимальный	0,19	0,26	10,5	минимальный (граничный)				
3. Полуприцеп самосвальный тракторный ПТ-15С (РУП «ННЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2017 г.)	Регулировка подшипников ступиц колес	0,36	0,47	6,4	минимальный	0,90	0,94	1,1	минимальный	0,19	0,26	10,5	минимальный (граничный)				
	Регулировка тормозов	0,53	0,68	5,8	минимальный	0,90	0,94	1,1	минимальный	0,19	0,26	10,5	минимальный (граничный)				

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6			7	8	9	10
					минимальный	минимальный	минимальный (граничный)				
4. Погрузчик-метатель зерна ПМЗ-100 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2015 г.)	Наклона трубы триммера	0,74	0,84	1,9	минимальный						
	Поворота триммера	0,74	0,84	1,9	минимальный						
	Включения-выключения блока ведущих колес	0,53	0,65	10,5	минимальный (граничный)	0,75	0,83	1,9	минимальный		
	Направления движения	0,63	0,75	6,0	минимальный						
	Ход (вперед-назад)	0,97	0,98	0,5	минимальный						
	Переключения скорости (рабочая/ транспортная)	0,97	0,98	0,4	минимальный						
	Усилия догрузки боковых секций рабочих органов	0,39	0,51	14,7	предельный						
	Нагрузки на выравниватели и катки	0,74	0,84	4,8	минимальный	0,50	0,61	9,9	минимальный		
	Заглубления планок планчатого катка	0,57	0,69	7,4	минимальный						
	Глубины обработки почвы S-образными пружинными стойками с лапами на каждой секции	0,36	0,48	18,7	предельный						
6. Агрегат почвообрабатывающий многофункциональный АПМ-6А (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2014 г.)	Глубины хода дисковых рабочих органов в пределах 6-12 см	0,86	0,92	1,9	минимальный						
	Равномерности распределения веса агрегата в поперечном направлении	0,97	0,98	0,2	минимальный						
	Глубины хода рыхлительных лап	0,54	0,66	10,1	минимальный (граничный)	0,54	0,65	3,2	минимальный		
	Регулировка подшипников колес	0,28	0,38	17,4	минимальный						
	Регулировка тормозов	0,28	0,38	7,4	минимальный						
	Ширины междурадий дисков первого и второго ряда	0,74	0,84	4,9	минимальный						
	Высоты отвала	0,64	0,76	5,8	минимальный						
	Регулировка рессорного предохранителя	0,74	0,84	1,9	минимальный						
	Установки рамы плуга	0,97	0,99	0,2	минимальный	0,61	0,71	2,0	минимальный		
	Глубины пахоты и выравниности рамы в продольной плоскости	0,97	0,99	0,2	минимальный						
7. Плуг 12-ти корпусный оборотный ПО-(8+4)-40 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2017 г.)	Ширина захвата первого корпуса	0,40	0,52	11,5	минимальный (граничный)						
	Настройки плуга для работы в режиме «вне борозды»	0,28	0,38	7,4	минимальный						

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8. Сялка пневматическая С-9 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2013 г.)	Регулировка высеваших аппаратов	0,97	0,98	0,2	минимальный				
	Регулировка воздушного потока высевашей системы	0,97	0,98	0,2	минимальный				
	Давления сошников на почву	0,36	0,47	9,4	минимальный				
	Глубины хода сошников	0,64	0,76	4,4	минимальный				
	Регулировка рыхлителей следа колес трактора и селки	0,26	0,36	7,7	минимальный	0,40	0,48	2,2	минимальный
	Регулировка загорточного устройства	0,86	0,92	0,9	минимальный				
	Регулировка маркеров	0,86	0,92	0,9	минимальный				
	Регулировка тормозов колесного хода	0,11	0,15	14,1	предельный				
	Регулировка подшипников ступицы колеса	0,11	0,15	14,1	предельный				
	Регулировка стояночного тормоза	0,18	0,25	6,3	минимальный				
9. Культиватор грядовой КТ-1 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2017 г.)	Глубины обработки	0,43	0,55	18,8	предельный				
	Установки угла атаки роторов	0,43	0,55	18,8	предельный	0,39	0,51	13,5	минимальный (граничный)
	Регулировка «замена рабочих органов»	0,47	0,59	7,3	минимальный				
	Установки междурядья	0,28	0,38	14,9	предельный				
10. Грядоделатель навесной ГН-1 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2017 г.)	Высоты гряды	0,43	0,55	14,3	предельный				
	Нагжения рессоры	0,74	0,84	2,9	минимальный				
	Управления маркерами	0,97	0,98	0,2	минимальный	0,61	0,71	3,2	минимальный
	Ширины гряды	0,43	0,55	14,3	предельный				
	Установки маркеров	0,54	0,66	6,0	минимальный				
	Управления запорными кранами	0,74	0,84	2,0	минимальный				
	Нормы высева посадочного материала	0,54	0,66	4,0	минимальный				
11. Картофелесажалка СК-4 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2015 г.)	Нормы высева минеральных удобрений	0,74	0,84	2,0	минимальный				
	Уровня заполнения высеваших аппаратов	0,36	0,47	6,3	минимальный	0,38	0,49	7,6	минимальный
	Регулировка высоты борозды	0,28	0,38	22,3	предельный				
	Глубины хода сошников	0,28	0,38	22,3	предельный				
	Размеры междурядий	0,28	0,47	19,3	предельный				

Окончание таблицы 5
1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12. Комбайн для уборки капусты КПК-1 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2015 г.)	Створы между делителями	0,53	0,65	8,3	минимальный				
	Расстояния между отбойниками и полотном	0,74	0,84	2,9	минимальный				
	Длины среза кочерыжки	0,53	0,65	10,7	минимальный (граничный)	0,67	0,77	2,7	минимальный
	Регулировка листоотделения	0,74	0,84	2,9	минимальный				
	Скорости транспортера	0,74	0,84	2,9	минимальный				
	Напряжения цепей	0,53	0,65	8,3	минимальный				
	Высоты теробильного аппарата	0,97	0,98	0,2	минимальный				
	Напряжения приводного ремня моечного барабана	0,54	0,66	8,2	минимальный				
	Скорости вращения моечного барабана	0,97	0,98	0,5	минимальный				
	Напряжения цепи роликков	0,64	0,76	5,8	минимальный	0,66	0,76	3,3	минимальный (граничный)
13. Установка для мойки корнеклубнеплодов УМК-10 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2015 г.)	Регулировка слива воды и очистки ванны	0,43	0,55	15,3	предельный				
	Наклона моечного барабана	0,86	0,92	1,9	минимальный				
	Скорости роликкового транспортера	0,97	0,98	0,5	минимальный				
	Напряжения цепи роликкового транспортера	0,97	0,98	0,5	минимальный	0,89	0,93	1,1	минимальный
14. Машина для полировки овощей МПК-10 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2015 г.)	Наклона выгрузного лотка	0,74	0,84	0,4	минимальный				

Заключение. Результаты исследований позволили обосновать количественные показатели безопасности для различных по своему функциональному назначению технических средств, используемых в растениеводческой отрасли АПК, разработать алгоритм, методику расчета [10] и соответствующее программное обеспечение [11].

ЛИТЕРАТУРА

1. Организационно-технические мероприятия для повышения безопасности и улучшения условий труда операторов мобильной сельскохозяйственной техники / Л.В. Мисун [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2012. – 192 с.
2. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: методы обработки данных / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М. : Мир, 1980. – 610 с.
3. Результаты исследований безопасности труда на клюквенных чеках в условиях изменяющихся параметров производственной среды / В.В. Азаренко [и др.] // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2016. – № 1. – С. 109–116.
4. Мисун, А.Л. Оценка производственного риска при возделывании сельскохозяйственных культур / А.Л. Мисун // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2017. – № 11. – С. 134–139.
5. Леонов, А.Н. Основы научных исследований и моделирования : учеб.-метод. комплекс / А.Н. Леонов, М.М. Дечко, В.Б. Ловкис. – Минск : БГАТУ, 2010. – 276 с.
6. Введение в исследование операций / У. Черчмен [и др.]. – М. : Мир, 1968. – 488 с.
7. Бурков, Е.А. Определение субъективности и надежности экспертных оценок на основе анализа статистических данных / Е.А. Бурков // Изв. гос. электротехн. ун-та. – 2010. – № 9. – С. 33–38.
8. Конышева, Л.К. Основы теории нечетких множеств / Л.К. Конышева, Д.М. Назаров. – СПб. : Питер, 2011. – 192 с.
9. Мисун, А.Л. Управление уровнем профессиональных рисков в промышленном выращивании клюквы / А.Л. Мисун // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. тематич. сб. : в 2 т. / РУП НПЦ НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2016. – Вып. 50, т. 2. – С. 128–134.
10. Азаренко, В.В. Методические подходы оценки и управления производственным риском в растениеводческой отрасли АПК Беларуси / В.В. Азаренко, А.Л. Мисун, А.Л. Мисун // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2017. – № 3. – С. 99–108.
11. Тестирование функционального состояния технического средства с учетом оценки его приспособленности к технологическим регулировкам и безопасности их выполнения : компьютерная программа : а.с. 1166 / А.Л. Мисун, В.В. Азаренко. – Оpubл. 27.03.2019.

Поступила 20.09.2020

FORECASTING THE SAFE USE OF AGRICULTURAL MACHINES IN CROP PRODUCTION BASED ON THEIR FITNESS TO PERFORM TECHNOLOGICAL ADJUSTMENTS

A. MISUN

The analysis of injury risk by types of production activities in the crop industry of the agro-industrial complex is made. Indicators of their safe operation (adaptability of the technical means to technological adjustment, safety of its implementation, risk of injury to the employee) are determined for various functional purposes of technical means used in crop production.

Keywords: *production risk, safety, adaptability to technological regulations, technical means, crop industry.*