

УДК 331.45:631.3

DOI 10.52928/2070-1616-2023-47-1-37-43

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ОПЕРАТОРОВ МОБИЛЬНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

д-р техн. наук, проф. С.Г. ЕХИЛЕВСКИЙ

(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)

д-р техн. наук, проф. А.Н. ОРДА, канд. техн. наук Ал-р Л. МИСУН

(Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск)

Получено уравнение регрессии для прогнозирования профессиональной компетентности и безопасности труда операторов мобильной сельскохозяйственной техники. Рассмотрено влияние таких факторов, как травмоопасность МСХТ при восстановлении ее работоспособности, профессиональная компетентность, условия труда на рабочем месте, на показатель безопасности эксплуатации кормоуборочного комбайна.

Ключевые слова: *безопасность труда, оператор мобильной сельскохозяйственной техники, профессиональная компетентность, условия труда.*

Введение. Обеспечение безопасных условий труда является приоритетной задачей на производстве. Однако, несмотря на принимаемые меры, уровень производственного травматизма остается достаточно высоким. Решение задач безопасности труда наталкивается на естественные трудности, связанные с необходимостью логического анализа сложных взаимосвязанных процессов. Весомость этих составляющих усиливается в условиях скоротечности выполнения работ, опасности принятия работником ошибочной или запоздалой оценки технического состояния технического средства, наличия на рабочем месте опасных и вредных производственных факторов.

Кроме этого, в большинстве случаев для анализа безопасности труда используется коэффициент частоты травматизма, рассматриваемый как статистическая оценка вероятности того, что произошло травмирование работника. При этом прогнозирование параметров безопасности труда зачастую не обосновывается количественными ее характеристиками, а позволяет установить лишь тенденции изменения состояния производственного процесса, что является промежуточной задачей оценки безопасности труда.

Прогнозирование условий и безопасности труда в технологических процессах – важнейшая задача, а каждый из используемых для этих целей методов имеет специфические особенности, анализ которых обязателен для проведения исследований.

Основная часть. Для изучения влияния профессиональной подготовки операторов мобильной сельскохозяйственной техники (МСХТ), его травмоопасности и производственной среды на безопасность труда [1] нами была предпринята рандомизация, которая выражалась в том, что операторы подбирались таким образом, чтобы их стаж и возраст находились соответственно в интервалах 3–30 лет и 19–50 лет [2]. Качественная оценка вышеперечисленных факторов осуществлялась по методике [3] и производилась случайным образом в течение всей рабочей смены. В качестве параметра оптимизации ($У$) исследуемого процесса был выбран параметр, характеризующий безопасность труда [4] и определяемый как среднее арифметическое оценок, выставленных экспертами. При этом учитывались производственные показатели операторов и дисциплина труда за последние 2–3 года. Для оценки профессиональной компетентности операторов МСХТ вначале рассчитывалось необходимое количество экспертов с учетом числа оцениваемых факторов, заданной точности вычислений, критического значения коэффициента конкордации (согласия экспертов). Для проверки значимости коэффициента конкордации определялось $\chi^2_{\text{табл}}$. Сопоставление $\chi^2_{\text{расч}}$ и $\chi^2_{\text{табл}}$ позволяло судить о достоверности проведенных расчетов. В качестве экспертов выступали главный инженер, заведующий мастерскими и инженер по охране труда. Операторы МСХТ (кормоуборочного комбайна) оценивались по 5-балльной шкале. Результаты экспертной оценки, а также значения выборочных средних $\bar{У} б.т.j$ в каждом опыте ($j = 1, \dots, 22$), приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Экспертная оценка безопасности труда операторов мобильной сельскохозяйственной техники

Номер оператора	Факторы, балл			Значения параметра безопасности труда $У_{б.т.}$, балл			
	Профессиональная компетентность оператора, $У_{п.п.}$	Травмоопасность обслуживаемого МСХТ, $\rho_{т}$	Условия труда на рабочем месте, $К_{у.т.}$	$У_{б.т.j1}$	$У_{б.т.j2}$	$У_{б.т.j3}$	$\bar{У}_{б.т.j}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	3,7	4,6	3,9	3,5	4,0	3,5	3,67
2	3,3	4,7	3,7	4,0	4,0	4,5	4,17
3	3,5	4,5	3,6	3,5	3,5	4,0	3,67
4	4,8	4,9	4,5	4,5	4,5	5,0	4,67
5	4,7	4,0	2,8	3,5	4,0	3,5	3,67
6	3,2	4,3	3,2	3,5	3,0	3,5	3,33

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
7	3,3	4,4	3,1	3,5	4,0	4,0	3,83
8	3,6	4,0	3,3	3,5	3,0	3,5	3,33
9	4,1	4,8	4,0	4,5	4,0	4,5	4,33
10	4,0	4,9	3,8	4,0	4,0	4,5	4,17
11	3,4	4,8	3,6	4,0	4,0	4,5	4,17
12	4,2	4,5	4,0	4,5	4,0	4,5	4,33
13	4,3	4,3	3,8	4,0	4,0	3,5	3,83
14	4,4	4,6	3,9	4,5	4,0	4,5	4,33
15	3,9	4,7	3,7	4,0	3,5	4,0	3,83
16	3,6	4,6	3,5	4,0	4,0	4,5	4,17
17	3,4	4,4	3,4	3,5	3,5	4,0	3,67
18	3,8	4,2	2,8	4,0	4,0	3,5	3,83
19	3,5	4,6	3,0	3,5	3,5	4,0	3,67
20	3,7	3,8	3,7	3,5	4,0	4,0	3,83
21	4,1	4,0	3,9	4,5	4,0	4,0	4,17
22	4,2	4,3	4,1	4,5	4,5	4,0	4,33

Зависимость безопасности труда операторов МСХТ от выбранных экспертами факторов (число факторов $k = 3$) представим в виде линейной модели:

$$Y_{6,т} = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3. \quad (1)$$

План эксперимента (таблица 1) – неортогональный, т.к. $\sum_{\substack{j=1 \\ r < s}}^{22} X_{rj} \cdot X_{sj} \neq 0$; $r, s = 1, 2, 3$, т.е. варьируемые фак-

торы в той или иной степени являются зависимыми. Это означает, что если между тремя факторами X_1, X_2, X_3 существует корреляционная связь, которая лишает вектор столбцов факторов ортогональности, построение уравнения (1) в таком виде станет невозможно. Поэтому вначале найдем коэффициенты парной корреляции $R(X_r, X_s)$ и проверим их на статистическую зависимость:

$$R(X_r, X_s) = \frac{\sum_{\substack{j=1 \\ r < s}}^{22} (X_{rj} - \bar{X}_r) \cdot (X_{sj} - \bar{X}_s)}{\sqrt{\sum_{j=1}^{22} (X_{rj} - \bar{X}_r)^2 \cdot \sum_{j=1}^{22} (X_{sj} - \bar{X}_s)^2}}, \quad (2)$$

где

$$\bar{X}_1 = \frac{\sum_{j=1}^{22} X_{1j}}{22} = -0,005; \quad \bar{X}_2 = \frac{\sum_{j=1}^{22} X_{2j}}{22} = 0,083; \quad \bar{X}_3 = \frac{\sum_{j=1}^{22} X_{3j}}{22} = 0,217;$$

$$\sum_{j=1}^{22} (X_{1j} - \bar{X}_1)^2 = 5,713; \quad \sum_{j=1}^{22} (X_{2j} - \bar{X}_2)^2 = 5,141; \quad \sum_{j=1}^{22} (X_{3j} - \bar{X}_3)^2 = 4,905.$$

Воспользовавшись уравнением (2), средними значениями факторов и суммой их квадратов, рассчитаем коэффициенты парной корреляции факторов [4]:

$$R(X_1, X_2) = 0,179; \quad R(X_1, X_3) = 0,317; \quad R(X_2, X_3) = 0,273.$$

Наличие статистически значимой корреляционной зависимости определим по критерию Стьюдента. Если выполняется неравенство [5]

$$t_s(X_r, X_s) = \sqrt{N-1} \frac{|R(X_r, X_s)|}{1 - R^2(X_r, X_s)} > t_{N-1, p}, \quad (3)$$

то соответствующий коэффициент корреляции следует признать статистически значимым. Поскольку

$$t_s(X_1, X_2) = \sqrt{22-1} \frac{0,179}{1-0,179^2} = 0,847 < t_{21,0,95} = 1,721, \quad (4)$$

$$t_s(X_1, X_3) = \sqrt{22-1} \frac{0,317}{1-0,317^2} = 1,616 < t_{21,0,95} = 1,721, \quad (5)$$

$$t_s(X_2, X_3) = \sqrt{22-1} \frac{0,273}{1-0,273^2} = 1,353 < t_{21,0,95} = 1,721, \quad (6)$$

где $t_{N-1,p} = t_{21,0,95} = 1,721$ – табличное значение критерия Стьюдента [6], то анализ уравнений (4)–(6) позволяет сделать вывод, что парные коэффициенты корреляции факторов X_1, X_2, X_3 статистически незначимы, и поэтому зависимость параметра исследуемого процесса ($V_{б.т.}$) от всех трех факторов (4) корректна.

Коэффициенты выражения (1) были найдены путем решения системы линейных уравнений, составленной методом наименьших квадратов. Статистическая обработка результатов эксперимента показала, что все 22 выборочные дисперсии $S_j^2 (j=1, \dots, 22)$ однородны по критерию Кохрена. Обработка опытных данных [7] позволила установить, что все рассчитанные коэффициенты выражения (1) значимы, само уравнение с доверительной вероятностью 95% адекватно (критерий Фишера) и в натуральных значениях факторов (таблица 2) имеет следующий вид [2]:

$$V_{б.т.} = 0,48 \cdot V_{п.п.} + 0,57 \cdot \rho_{т.} + 0,26 \cdot K_{у.т.} - 1,55. \tag{7}$$

Таблица 2. – Уровни безопасности труда операторов мобильной сельскохозяйственной техники

Уровень безопасности труда операторов МСХТ	Значение показателя безопасности труда, балл	Интервал изменения факторов, балл		
		Профессиональная компетентность, $V_{п.п.}$	Травмоопасность технического средства, $\rho_{т.}$	Условия труда на рабочем месте, $K_{у.т.}$
Высокий	$4,11 \leq V_{б.т.} \leq 5,0$	$4,25 \leq V_{п.п.} \leq 5,0$	$4,67 \leq \rho_{т.} \leq 5,0$	$4,15 \leq K_{у.т.} \leq 5,0$
Средний	$3,17 \leq V_{б.т.} < 4,11$	$3,40 \leq V_{п.п.} < 4,25$	$4,34 \leq \rho_{т.} < 4,67$	$3,30 \leq K_{у.т.} < 4,15$
Низкий	$2,12 \leq V_{б.т.} < 3,17$	$3,00 \leq V_{п.п.} < 3,40$	$3,00 \leq \rho_{т.} < 4,34$	$3,00 \leq K_{у.т.} < 3,30$

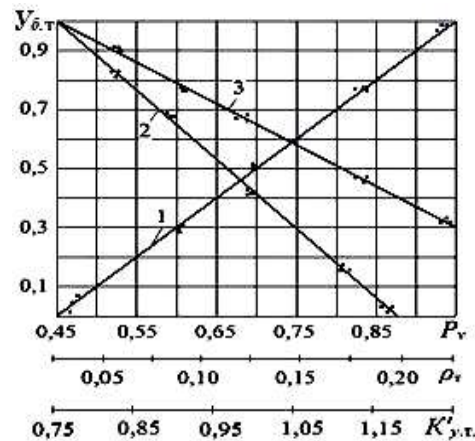
Выражение (7) позволяет обосновать уровни безопасности труда операторов МСХТ [2] (таблица 2). Для анализа каждой из составляющих выражения (7) на безопасность труда весомость их баллов, согласно исследованиям условий и охраны труда операторов МСХТ [8] принимается одинаковой. Тогда, среднее значение (D_{cp}), характеризующее общий уровень безопасность труда операторов МСХТ:

$$D_{cp.} = \frac{V_{п.п.} + \rho_{т.} + K_{у.т.}}{3}. \tag{8}$$

Наилучший вариант будет при $D_{cp.} = 5$ ($V_{п.п.} = 5, \rho_{т.} = 5$ и $K_{у.т.} = 5$), т.е. при «высоком» уровне профессиональной компетентности оператора, допустимых (или почти допустимых) условиях труда и низкой травмоопасности технического средства. Такое состояние при $D_{cp.} = 5$ баллам можно обозначить как исключительное. С другой стороны, «высокий» уровень безопасности труда оператора может быть и в том случае, если $K_{у.т.}$ равно 3,1; 3,2; 3,3 и 3,4, уровень профессиональной компетентности оператора «высокий», травмоопасность «низкая». Тогда с учетом выражения (8) для этих двух вариантов значение $D_{cp.} = 4,67$. «Средний» уровень безопасности труда имеет место, если даже низкий уровень профессиональной компетентности оператора МСХТ, но $\rho_{т.} = 5,0 \dots 4,67$ балла, $K_{у.т.} = 2$. Также к «среднему» уровню безопасности труда оператора МСХТ можно отнести: «средний» уровень профессиональной компетентности оператора, условия труда класса «3,1», «3,2», «3,3» и «3,4» и $\rho_{т.} = 5,0 \dots 4,67$. Значение $D_{cp.}$ для двух этих вариантов равно 4,0. «Низкий» уровень безопасности труда: $\rho_{т.} = 3,0 \dots 4,33, V_{п.п.} = 3,40 \dots 4,24$ и «вредные» условия труда ($K_{у.т.}$ «3.1», «3.2», «3.3», «3.4»). При этом $D_{cp.} = 3,3$. «Недопустимый» уровень безопасности труда возможен, когда при любых значениях [9] факторов $V_{п.п.}$ и $\rho_{т.}$ $K_{у.т.}$ относится к 4-му классу условий труда. В таких ситуациях рабочие места подлежат ликвидации.

Для обеспечения безопасности труда на уборке сельскохозяйственных культур, контроля за ее состоянием необходимо знать не только качественные показатели безопасности выполнения технологического процесса (уровень профессиональной компетентности оператора МСХТ, травмоопасность технического средства, класс условий труда на рабочем месте), но и его количественную оценку, используемую для расчета производственного риска для конкретного технического средства и рабочего места. В качестве такой оценки можно использовать: умение оператора оперативно в течение рабочей смены выполнять управленческие воздействия на изменение в технологическом процессе и тем самым как можно меньше находиться в травмоопасной зоне, травмоопасность МСХТ при восстановлении ее работоспособности, отклонение на рабочем месте оператора количественных показателей опасных и вредных производственных факторов от гигиенических нормативов. Графическое изображение зависимостей перечисленных факторов, а также условия их функционирования приведены соответственно на рисунке и в таблице 3. Областью возможных значений варьируемых переменных (факторов) является куб, т.е. выполняется условие:

$$-1 \leq x \leq 1.$$



- 1 – оперативности управленческих воздействий на изменения в технологическом процессе (P_v);
- 2 – травмоопасности кормоуборочного комбайна при восстановлении его работоспособности (ρ_r);
- 3 – отклонение опасных и вредных факторов на рабочем месте от гигиенических нормативов (K'_{y.t.}).

Рисунок. – Зависимость безопасности труда (Y_{б.т.}) оператора МСХТ

Таблица 3. – Наименование факторов безопасности труда оператора кормоуборочного комбайна, уровни и интервалы их варьирования

Интервалы варьирования факторов	Наименование факторов		
	Оперативность управленческих воздействий на изменения в технологическом процессе, P _v	Травмоопасность МСХТ при восстановлении ее работоспособности, ρ _r	Отклонение опасных и вредных факторов на рабочем месте от гигиенических нормативов, K' _{y.t.}
Основной уровень x ₀ , r = 1, 2, 3	0,6	0,5	1,0
Интервал варьирования Δx _r , r = 1, 2, 3	0,2	0,2	0,25
Верхний уровень, x _r = +1, r = 1, 2, 3	1,0	0,9	1,25*
Нижний уровень, x _r = -1, r = 1, 2, 3	0,2	0,1	0,75*
Формула перевода натуральных значений факторов в нормированные и обратно	$X_1 = \frac{P_v - 0,6}{0,2}$ $P_v = 0,2 \cdot X_1 + 0,6$	$X_2 = \frac{\rho_r - 0,5}{0,2}$ $\rho_r = 0,2 \cdot X_2 + 0,5$	$X_3 = \frac{K'_{y.t.} - 1,0}{0,25}$ $K'_{y.t.} = 0,25 \cdot X_3 + 1,0$

Примечание. *Значение показателя относительно ПДК (ПДУ).

В приведенном выше выражении предельные (минимальные и максимальные) значения нормируемых факторов обозначены как -1 и 1. Переход к обычному масштабу может быть осуществлен по формулам [5]:

$$a_i x_i = \frac{a_i}{\epsilon_i} x_i - \frac{a_i}{\epsilon_i} x_{oi};$$

$$a_{ij} x_i \cdot x_j = \frac{a_{ij}}{\epsilon_i \cdot \epsilon_j} (x_i \cdot x_j - x_i \cdot x_{oj} - x_{oi} \cdot x_j + x_{oi} \cdot x_{oj}); \quad a_{ij} x_i^2 = \frac{a_{ij}}{\epsilon_i^2} (x_i^2 - 2x_i \cdot x_{oi} + x_{oi}^2),$$

где x_i, x_j – именованная величина в размерности фактора;
 x_{oi}, x_{oj} – натуральное значение фактора при нулевом уровне;
 ε_i, ε_j – натуральное значение интервала варьирования фактора.

Анализ механизма предварительных исследований также показал, что для описания рассматриваемого процесса целесообразно использовать уравнение следующего вида:

$$Y'_{б.т.} = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + a_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + a_{23} \cdot x_2 \cdot x_3, \tag{9}$$

где a₀, a₁, a₂, a₃, a₁₂, a₁₃, a₂₃ – коэффициенты уравнения регрессии.

В опытах реализован полный факторный эксперимент (ПФЭ) типа 2³, матрица планирования которого представлена в таблице 4. В качестве критерия оптимизации исследуемого процесса выбрали безопасность труда

оператора кормоуборочного комбайна. План ПФЭ, в котором факторы ортогональны $\left(\sum_{j=1}^N X_{rj} \cdot X_{sj} = 0\right)$, позволяет провести независимую оценку коэффициентов многофакторного уравнения регрессии и дисперсий их значимости.

Таблица 4. – Матрица планирования эксперимента. Результаты эксперимента

Номер опыта	Планирование эксперимента			Опытные данные		
	X ₁	X ₂	X ₃	Y' _{1j}	Y' _{2j}	Y' _{3j}
1	-1	-1	-1	0,89	0,85	0,85
2	1	-1	-1	0,98	0,97	0,97
3	1	1	-1	0,78	0,82	0,75
4	1	1	1	0,70	0,66	0,68
5	-1	1	1	0,25	0,22	0,24
6	-1	-1	1	0,75	0,70	0,68
7	-1	1	-1	0,35	0,30	0,32
8	1	-1	1	0,92	0,90	0,87

Окончание таблицы 4

Номер опыта	Результаты эксперимента			
	\bar{Y}'_j	S ² _j	Y ^p _j	$\left(\bar{Y}'_j - Y_j^p\right)^2$
1	0,863	0,0028	0,839	0,00058
2	0,974	0,0002	0,972	0,00001
3	0,783	0,0053	0,743	0,00160
4	0,680	0,0016	0,669	0,00012
5	0,237	0,0011	0,234	0,00001
6	0,710	0,0064	0,667	0,00185
7	0,323	0,0028	0,314	0,00008
8	0,897	0,0028	0,873	0,00058
	$\sum_{j=1}^N Y_j = 0,547$	$\sum_{j=1}^N S_j^2 = 0,0230$	$\phi = \sum_{j=1}^N \left(\bar{Y}'_j - Y_j^p\right)^2 = 0,0048$	

В результате статистической обработки опытных данных установлено:

а) все восемь выборочных дисперсий S²_j однородны по критерию Кохрена, т.к. G₃ < G_{n-1;N;0,95}, где G₃ = max S²_j / $\sum_{j=1}^N S_j^2 = \frac{0,0053}{0,0230} = 0,230$ – экспериментальное значение критерия Кохрена; G_{n-1;N;p} = G_{2;8;0,95} = 0,516 – критическое значение критерия Кохрена при числе степеней свободы f_{числ} = n – 1, f_{знам} = N и доверительной вероятности p = 0,95 [6];

б) поскольку выборочные дисперсии однородны, то дисперсия воспроизводимости и ее число степеней свободы (f) определяются по следующим уравнениям:

$$S_{\text{воспр.}}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N S_j^2}{N} = \frac{0,0230}{8} = 0,0029,$$

$$f = N(n-1) = 8 \cdot (3-1) = 16;$$

в) коэффициенты уравнения регрессии (9), рассчитаны по следующим формулам [5]:

$$a_0 = \frac{\sum_{j=1}^N \bar{Y}'_j}{N}, \tag{10}$$

$$a_r = \frac{\sum_{j=1}^N X_{rj} \cdot \bar{Y}'_j}{N}, \quad r = 1, 2, 3, \dots, N, \tag{11}$$

$$a_{rs} = \frac{\sum_{\substack{j=1 \\ r < s}}^N X_{rj} \cdot X_{sj} \cdot \bar{Y}'_j}{N}, \quad r, s = 1, 2, 3, \dots, N \tag{12}$$

и равны:

$$a_0 = 0,683; a_1 = 0,448; a_2 = 0,690; a_3 = -0,644; a_{12} = 0,841; a_{13} = -0,802; a_{23} = -0,143;$$

г) доверительный интервал (Δa) для всех коэффициентов уравнения регрессии равен

$$\Delta a = t_{N(n-1);p} \cdot \sqrt{\frac{S_{\text{воспр.}}^2}{n \cdot N}},$$

где $t_{N(n-1);p}$ – табличное значение критерия Стьюдента при числе степеней свободы $f = N(n-1) = 16$ и доверительной вероятности $p = 0,95$ ($t_{\text{табл.}} = t_{N(n-1);p} = t_{16;0,95} = 1,746$) [7],

$$\Delta a = 1,746 \cdot \sqrt{\frac{0,0029}{3 \cdot 8}} \approx 0,019;$$

д) все рассчитанные коэффициенты уравнения регрессии значимы, т.к. для всех них выполняется неравенство:

$$\Delta a < |a_r|, \quad (r = 0; 1; 2; 3),$$

$$\Delta a < |a_{rs}|, \quad (r, s = 0; 1; 2; 3, r < s);$$

е) полученное уравнение регрессии адекватно, т.к. $F_9 < F_{\text{табл.}}$, где

$$S_{\text{ад.}}^2 = \frac{n \cdot \Phi}{f_{\text{ад.}}},$$

где $f_{\text{ад.}} = N - B$,

B – число значимых коэффициентов уравнения регрессии ($B = 7$); тогда

$$S_{\text{ад.}}^2 = \frac{3 \cdot 0,0048}{8 - 7} \approx 0,0144, \quad (13)$$

$$F_9 = \frac{S_{\text{воспр.}}^2}{S_{\text{ад.}}^2} = \frac{0,0029}{0,0144} = 0,201, \quad (14)$$

$$F_{\text{табл.}} = F_{N(n-1);N-B;0,95} = F_{16;1;0,95} = 4,49,$$

где $F_{N(n-1);N-B;0,95}$ – табличное значение критерия Фишера при числе степеней свободы $f_{\text{числ.}} = N(n-1) = 16$, $f_{\text{знам.}} = N - B = 1$, доверительной вероятности $p = 0,95$;

ж) уравнение (9) в нормированных значениях факторов имеет следующий вид:

$$V'_{6.т} = 0,683 + 0,448 \cdot X_1 + 0,690 \cdot X_2 - 0,644 \cdot X_3 + 0,841 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,802 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,143 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (15)$$

Анализ выражения (15) показывает:

а) наилучший показатель безопасности труда на уборке кормовых культур достигается при $X_1 = +1$, $X_2 = -1$, $X_3 = -1$ и равен $V'_{6.т. \max} = 90,3\%$;

б) фактор «травмоопасность МСХТ (кормоуборочного комбайна) при восстановлении его работоспособности» (X_2) имеет более существенное влияние на безопасность труда оператора, чем другие рассматриваемые факторы: $X_2 = 0,690 > X_3 = 0,644 > X_1 = 0,448$;

в) наихудший результат с точки зрения безопасности выполнения кормоуборочных работ $V'_{6.т. \min} = 9,9\%$ ожидается, когда «оперативность управленческих воздействий на изменения в технологическом процессе» – низкая ($X_1 = -1$), показатели «травмоопасность комбайна» ($X_2 = +1$) и «отклонение опасных и вредных производственных факторов на рабочем месте оператора МСХТ от гигиенических нормативов» ($X_3 = +1$) достигают максимума.

Заключение. В результате проведенных исследований получено уравнение регрессии для прогнозирования безопасности труда оператора МСХТ от профессиональной его компетентности, травмоопасности технического средства и условий труда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азаренко В.В., Мисун А.Л., Мисун А.Л. Методические подходы оценки и управление производственным риском в растениеводческой отрасли АПК Беларуси // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2017. – № 3. – С. 99–108.
1. Азаренко В.В., Мисун А.Л., Корбут С.Н. Оценка уровня безопасности труда на уборке кормовых культур как показателя снижения профессиональных рисков // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2016. – № 3. – С. 99–106.

2. Мисун Л.В., Гурина А.Н. Профессиональная успешность и безопасность операторов мобильной сельскохозяйственной техники: психофизиологический отбор и прогнозирование. – Минск: БГАТУ, 2013. – 184 с.
3. Федорец А.Г. Управление рисками: от оценки травмобезопасности к оценке травоопасности // Безопасность в техносфере. – 2009. – № 2. – С. 25–30.
4. Основы научных исследований и моделирования / А.Н. Леонов, М.М. Дечко, В.Б. Ловкис. – Минск: БГАТУ, 2010. – 276 с.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
6. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: методы обработки: [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1980. – 610 с.
7. Богданов А.В. Улучшение условий и охраны труда на основе использования оценочных показателей уровня безопасности работников // Безопасность жизнедеятельности. – 2007. – № 12. – С. 2–3.
8. Суворов С.Б. Комплексный подход к оценке травмобезопасности рабочих мест // Безопасность жизнедеятельности. – 2007. – № 8. – С. 2–4.

REFERENCES

1. Azarenko, V.V., Misun, A.L. & Misun, A.L. (2017). Metodicheskie podkhody otsenki i upravlenie proizvodstvennym riskom v rasteniyevodcheskoi otrasli APK Belarusi []. *Vesti Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Ser. agrarnykh navuk [News of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of agricultural sciences]*, (3), 99–108. (In Russ., abstr. in Engl.)
2. Azarenko, V.V., Misun, A.L. & Korbut, S.N. (2016). Otsenka urovnya bezopasnosti truda na uborke kormovykh kul'tur kak pokazatelya snizheniya professional'nykh riskov [Evaluation of the level of labor safety at harvesting fodder crops as an indicator of reducing occupational risks]. *Vesti Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Ser. agrarnykh navuk [News of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of agricultural sciences]*, (3), 99–106. (In Russ., abstr. in Engl.)
3. Misun, L.V. & Gurina, A.N. (2013). *Professional'naya uspeshnost' i bezopasnost' operatorov mobil'noi sel'skokhozyaystvennoi tekhniki: psikhofiziologicheskii otbor i prognozirovaniye*. Minsk: BGATU. (In Russ.)
4. Fedorets, A.G. (2009). Upravlenie riskami: ot otsenki travmobeopasnosti k otsenke travmoopasnosti [Risk management: from injury safety assessment to injury risk assessment]. *Bezopasnost' v tekhnosfere [Security in the technosphere]*, (2), 25–30. (In Russ., abstr. in Engl.)
5. Leonov, A.N., Dechko, M.M. & Lovkis, V.B. (2010). *Osnovy nauchnykh issledovaniy i modelirovaniya*. Minsk: BGATU. (In Russ.)
6. Venttsel', E.S. (1969). *Teoriya veroyatnostei*. Moscow: Nauka. (In Russ.)
7. Dzhonson, N. & Lion, F. (1980). *Statistika i planirovaniye eksperimenta v tekhnike i nauke: metody obrabotki [Statistics and experiment planning in technology and science: processing methods]*. Moscow: Mir. (In Russ.)
8. Bogdanov, A.V. (2007). Uluchsheniye uslovii i okhrany truda na osnove ispol'zovaniya otsenochnykh pokazatelei urovnya bezopasnosti rabotnikov [Improving the conditions and labor protection based on the use of estimated indicators of the level of safety of workers]. *Bezopasnost' zhiznedeiyatel'nosti [Life safety]*, (12), 2–3. (In Russ., abstr. in Engl.)
9. Suvorov, S.B. (2007). Kompleksnyi podkhod k otsenke travmobeopasnosti rabochikh mest [An integrated approach to assessing the safety of workplaces]. *Bezopasnost' zhiznedeiyatel'nosti [Life safety]*, (8), 2–4. (In Russ., abstr. in Engl.)

Поступила 14.02.2023

**SCIENTIFIC RATIONAL
FOR THE ASSESSMENT OF PROFESSIONAL COMPETENCE AND SAFETY
OF OPERATORS OF MOBILE AGRICULTURAL MACHINERY**

S. YEKHILEVSKY

(Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk)

A. ORDA, Al-r MISUN

(Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk)

A regression equation has been obtained to predict the professional competence and labor safety of operators of mobile agricultural machinery. The influence of such factors as "injury hazard of the MSHT during the restoration of its working capacity, professional competence, working conditions at the workplace" on the safety indicator of the operation of a forage harvester is considered.

Keywords: labor safety, operator of mobile agricultural machinery, professional competence, working conditions.