

МЕХАΝІЗАЦЫЯ І ЭНЕРГЕТЫКА

УДК [631.158:658.345]:[631.55:633.2/3]

В. В. АЗАРЕНКО¹, А. Л. МИСУН², Л. В. МИСУН², С. Н. КОРБУТ²

ОЦЕНКА УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА НА УБОРКЕ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР КАК ПОКАЗАТЕЛЯ СНИЖЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ

*¹Президиум НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: azarenko@presidium.bas-net.by
²Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: LLM_90@mail.ru*

В статье обоснован показатель безопасности труда оператора мобильной сельскохозяйственной техники от профессиональной его подготовки, травмоопасности технического средства и условий труда. Предложена градация уровней безопасности труда операторов кормоуборочных комбайнов, что способствует рациональному распределению операторов за техникой и, как следствие, повышению эффективности мероприятий по охране труда.

Ключевые слова: условия труда, безопасность труда, профессиональная подготовка, травмоопасность технического средства.

V. V. AZARENKO¹, A. L. MISUN², L. V. MISUN², S. N. KORBUT²

ASSESSMENT OF OCCUPATIONAL SAFETY AT FODDER CROPS HARVEST AS AN INDICATOR OF THE REDUCTION OF PROFESSIONAL RISKS

*¹Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: azarenko@presidium.bas-net.by
²The Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus, e-mail: LLM_90@mail.ru*

The article substantiates the indicator of occupational safety of an operator of mobile agricultural machinery depending on his professional training, injury risk of equipment, and working conditions. Proposed is the range of the levels of occupational safety of forage harvester operators, what contributes to the rational allocation of operators for equipment, and as a result, efficiency increase of the measures on labour protection.

Keywords: working conditions, occupational safety, vocational training, injury risk of equipment.

Введение. Обеспечение безопасных условий труда является приоритетной задачей в сельскохозяйственном производстве [1]. Однако в настоящее время, несмотря на принимаемые меры, некоторые технологические процессы в земледелии остаются травмоопасными. Так, согласно исследованиям [2], одним из самых травмоопасных технологических процессов производства продукции растениеводства, уровень опасности которого характеризуется как «значительный», является заготовка кормов – количество происшествий по сравнению с другими процессами составляет 25,4 %, тогда как при почвообработке, внесении удобрений и посевах – 11,9 %, уборке картофеля и корнеплодов – 8,4 %. При этом больше других подвержены травматизму операторы мобильной сельскохозяйственной техники (трактористы-машинисты; механизаторы; водители транспортных средств, задействованных на кормоуборке). Уровень опасности профессиональных рисков для этих работников является одним из самых высоких в АПК: их травматизм с тяжелым исходом составляет 55 % [2] по сравнению с другими профессиями в растениеводческой отрасли сельскохозяйственного производства.

В настоящее время используются различные методы [3–4] для оценки безопасности труда [5] операторов мобильной сельскохозяйственной техники (МСХТ). В большинстве своем в них рассматривается статистическая оценка травмирования работника, позволяющая установить лишь

тенденции изменения состояния безопасности труда, что, на наш взгляд, является промежуточной задачей. Кроме того, применение таких методов довольно трудоемко и имеет свои особенности, связанные с определением безразмерных частных оценок условий труда. Наиболее приемлемым, на наш взгляд, для оценки безопасности труда должно быть определение количества возможных опасных ситуаций по вероятности нахождения работника в опасной зоне.

Цель работы – обоснование показателя безопасности труда операторов МСХТ в зависимости от профессиональной их подготовки, травмоопасности технического средства и условий труда.

Материалы и методы исследования. Наблюдения за работой кормоуборочных комбайнов (22 ед. техники) проводили в агропредприятиях Минского, Пуховичского, Миорского и Мядельского районов 2014–2015 гг. Фиксировали временные показатели работы комбайнов, их технологические и эксплуатационные отказы, а также простои по причинам «оператора» (комбайнера, водителя транспортных средств), «комбайна», «производственной среды», «транспорта».

Для проведения оценки важнейшего фактора безопасности труда – профессиональной подготовки оператора МСХТ ($Y_{п.п}$) – анализировали наличие специального образования у оператора, стаж практической работы и его возраст [6]. Этот показатель корректировали с учетом результатов тестирования («тест механической понятливости Беннета»), определяли уровень развития общетехнических способностей (число правильных ответов): очень низкий – меньше 26; низкий – 27–32; средний – 33–38; высокий – 39–47; очень высокий – больше 48.

Условно было выделено три уровня профессиональной подготовки операторов МСХТ: «высокий» ($Y_{п.п} = 1,0–0,7$); «средний» ($Y_{п.п} = 0,69–0,35$) и «низкий» ($Y_{п.п} < 0,35$). Балльная оценка уровней профессиональной подготовки операторов МСХТ представлена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Оценка профессиональной подготовки операторов МСХТ

Уровень профессиональной подготовки	Значения фактора «профессиональная подготовка оператора МСХТ» ($Y_{п.п}$)	Оценка, баллы
Высокий	0,70–1,00	4,25–5,00
Средний	0,35–0,69	3,40–4,24
Низкий	< 0,35	< 3,40

Безопасность труда оператора МСХТ зависит и от уровня травмоопасности используемого технического средства, его ремонтпригодности и безотказности, которые можно охарактеризовать таким параметром, как приведенная плотность потока отказов и восстановлений (P_T). При этом к первому уровню по травмоопасности относили технические средства, у которых P_T был не более 0,150; второй уровень – при $P_T = 0,151–0,200$, третий – при $P_T = 0,200–0,400$. Оценочная шкала уровней травмоопасности технических средств приведена в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. Оценка травмоопасности технического средства

Уровень травмоопасности технического средства	Значения фактора «травмоопасность технического средства» (P_T)	Оценка, баллы
Высокий	0,150–0,100 и менее	4,67–5,00
Средний	0,199–0,151	4,34–4,66
Низкий	0,200–0,400 и более	4,33–3,00 и менее

Что же касается фактора «условия труда на рабочем месте», то следует отметить, что он оценивался соответствующими классами ($K_{у.т}$) согласно результатам аттестации рабочих мест: первому классу соответствовали оптимальные условия труда; второму классу – допустимые условия труда. В целом первый и второй классы представляют собой безопасные условия труда. Третий класс – вредные условия труда. Он подразделяется на четыре степени и обычно обозначается «3.1»; «3.2»; «3.3» и «3.4»: чем выше степень третьего класса, тем хуже условия труда на рабочем месте из-за более значительных отклонений показателей опасных и вредных фак-

торов производственной среды и трудового процесса от действующих гигиенических нормативов. Такие отклонения отрицательно влияют на организм человека, в том числе ухудшают его внимание, способствуют быстрой утомляемости и т. д. В конечном итоге это приводит к снижению безопасности труда. Когда показатели опасных и вредных факторов производственной среды таковы, что создают угрозу для жизни работника, то условия труда считаются опасными (экстремальными) и относятся к четвертому классу ($K_{y,t}$ «4»). Рабочие места с $K_{y,t}$ «4», как правило, требуют ликвидации. При сопоставлении классов условий труда имеет смысл объединить условия труда с $K_{y,t}$ «2» (допустимые уровни труда) и $K_{y,t}$ «3.1», так как условия труда с $K_{y,t}$ «3.1» отличаются от допустимых условий незначительным отклонением показателей опасных и вредных факторов производственной среды от нормативных значений. Аналогично поступили, объединив степени класса условий труда «3.2», «3.3» и «3.4» (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Оценка условий труда на рабочем месте оператора МСХТ

Уровень состояния условий труда	Классе условий труда	Оценка фактора «условий труда на рабочем месте оператора МСХТ» ($K_{y,t}$), баллы
Высокий	«1», «2» и «3.1»	3,70–5,00
Средний (вредоносный)	«3.2», «3.3» и «3.4»	2,40–3,69
Низкий (опасный)	«4»	< 2,40

Результаты и их обсуждение. Безотказно работающих машин и механизмов практически не существует, и при возникновении отказа в работе любого технического средства необходимо немедленное вмешательство оператора мобильной сельскохозяйственной техники, выполнение им функций управления. Это требует от него большой ответственности, так как от правильности, своевременности, безошибочности и эффективности его действий зависит безопасность и эффективность функционирования управляемой им системы, сохранность оборудования и жизни людей. Залогом успешной работы оператора МСХТ служит доскональное знание технологического процесса, требований производственной эксплуатации технического средства и техники безопасности, т. е. все то, что называется высоким техническим интеллектом. Это позволяет оператору предупреждать возникновение аварийной ситуации, правильно выделить из множества различных отклонений наиболее существенное и выбирать оптимальный режим работы [7–8].

Количественное определение изучаемых факторов профессиональной подготовки операторов МСХТ, травмоопасности технического средства и условий труда на рабочем месте осуществляли по вышеприведенной методике.

При этом высокий уровень профессиональной подготовки оператора МСХТ ($Y_{п.п}$), способствующий безопасно выполнять управленческие воздействия на изменения в технологическом процессе (ρ_v) с наименьшими затратами времени (t) на эти воздействия (t рассчитывается как отношение фактического времени к среднему его значению), записывается следующим образом [9]:

$$Y_{п.п}(\rho_v, t) = ae^{bt}\rho_v^c, \quad (1)$$

где a , b , c – параметры зависимости.

Для расчета показателя ρ_v использовали зависимость, полученную по данным ГУО «Белорусский республиканский учебный центр» [6]:

$$\rho_v = 4,00 + 0,50X_1 + 0,25X_2, \quad (2)$$

где X_1 – образование оператора МСХТ (среднее специальное; среднее; базовое); X_2 – стаж практической работы оператора МСХТ (до 5 лет; 5 лет и более).

Обработка статистических данных показала незначимость фактора «возраст обучающего оператора МСХТ». Также установлено [6], что наилучший результат ожидается у операторов МСХТ со средним специальным и средним образованием и стажем работы 5 лет и более. Уточнение значения показателя ρ_v осуществляли на рабочих местах по результатам тестирования операторов (тест «механической понятливости Беннета») посредством введения поправочного

коэффициента (K_6). Для операторов МСХТ с «высоким уровнем развития общетехнических способностей» $K_6 = 0,2$, со средним и низким – значение K_6 принималось равным 0,16 и 0,13 соответственно. Для проведения дальнейших исследований были установлены следующие диапазоны варьирования ρ_v и t : показатель ρ_v изменялся от 0,42 (низкий уровень выполнения управленческих воздействий) до 1,0 (очень высокий уровень), показатель t – от 1,0 до 1,5.

Значения параметров a , b и c (формула (1)) определяли с учетом принятых ограничений ($P_{п.п} = 1,0$, $\rho_v = 1,0$, $t = 1,0$; $P_{п.п} = 0,7$, $\rho_v = 0,5$, $t = 1,0$; $P_{п.п} = 0,35$, $\rho_v = 0,42$, $t = 1,5$) из системы уравнений:

$$\begin{cases} 1,0 = ae^{b1,0}1,0^c; \\ 0,7 = ae^{b1,0}0,5^c; \\ 0,35 = ae^{b1,5}0,42^c. \end{cases} \quad (3)$$

Прделав соответствующие преобразования, система уравнений (3) приняла следующий вид:

$$\begin{cases} 1,0 = ae^b; \\ 0,7 = 0,5^c; \\ 0,35 = e^{b0,5}0,42^c. \end{cases} \quad (4)$$

Из второго уравнения системы (4) находили значение параметра c :

$$c = \frac{\ln 0,7}{\ln 0,5} = \frac{-0,357}{-0,693} = 0,515.$$

Подставив значение параметра c в третье уравнение системы (4), определили b :

$$0,35 = e^{0,5b}0,42^{0,515},$$

откуда

$$b = \frac{\ln 0,547}{0,5} = -\frac{0,603}{0,5} = -1,206.$$

Значение параметра a находили из первого уравнения системы (4):

$$a = \frac{1}{e^{-1,206}} = \frac{1}{0,299} = 3,344.$$

Подставив значения параметров a , b и c в формулу (4), получили выражение для определения уровня профессиональной подготовки оператора МСХТ:

$$Y_{п.п} = 3,344e^{-1,206t}\rho_v^{0,515}. \quad (5)$$

Для исследования влияния перечисленных факторов – $Y_{п.п}$, P_t и $K_{y.t}$ на безопасность труда операторов МСХТ нами была предпринята рандомизация, которая выражалась в том, что выборка из 22 операторов МСХТ подбиралась случайным образом, чтобы их стаж и возраст находились в интервалах 3–30 и 19–50 лет соответственно. В качестве параметра оптимизации Y был выбран параметр, характеризующий безопасность труда оператора МСХТ, который определяли как среднее арифметическое экспертных оценок. При субъективной оценке эксперты учитывали и технический интеллект оператора, и производственные показатели, и дисциплину труда, и число нарушений разного вида за последние 2–3 года, т. е. все, что в конечном итоге определяет профессионализм, успешность, надежность и безопасность труда. В качестве экспертов выступали главный инженер, заведующий мастерскими и инженер по охране труда. В арсенале экспертов были 7 оценок: 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5, так как более подробная градация оценок затруднительна на практике. Результаты оценки безопасности труда оператора МСХТ в зависимости от профессиональной его подготовки, травмоопасности технического средства и условий труда на рабочем месте приведены в табл. 4, в этой же таблице приведены рассчитанные значения выборочных средних Y_j в каждом опыте ($Y_j = 1-22$).

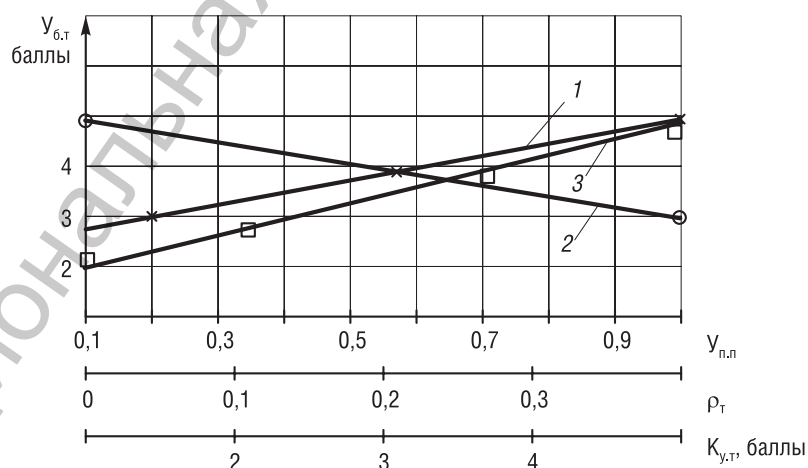
Т а б л и ц а 4. Оценка безопасности труда оператора МСХТ

Номер оператора	Фактор, баллы			Значение параметра безопасности труда ($Y_{б.т.}$)			
	профессиональная подготовка, $Y_{п.п.}$	травмоопасность технического средства, P_T	условия труда на рабочем месте, $K_{у.т.}$	Y_{j_1}	Y_{j_2}	Y_{j_3}	\bar{Y}
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
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

Предварительными исследованиями выявлены наиболее существенные факторы, влияющие на рассматриваемый процесс (рисунок), уровни и интервалы их варьирования (табл. 5).

Моделирование безопасности труда операторов МСХТ в зависимости от выбранных факторов целесообразно начинать с линейной модели (число факторов $k = 3$):

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3. \quad (6)$$



Зависимость безопасности труда ($Y_{б.т.}$) оператора МСХТ от: 1 – профессиональной подготовки $Y_{п.п.}$; 2 – травмоопасности технического средства P_T ; 3 – условий труда на рабочем месте $K_{у.т.}$

Т а б л и ц а 5. Наименование факторов, уровни и интервалы их варьирования для изучения безопасности труда операторов МСХТ

Показатель	Профессиональная подготовка, $Y_{п.п.}$	Травмоопасность технического средства, P_T	Условия труда на рабочем месте, $K_{y.t.}$
Основной уровень $x_{r0}, r = 1, 2, 3$	4,0	4,0	3,5
Интервал варьирования $\Delta x_r, r = 1, 2, 3$	1,0	1,0	1,5
Верхний уровень, $x_r = +1, r = 1, 2, 3$	5,0	5,0	5,0
Нижний уровень, $x_r = -1, r = 1, 2, 3$	3,0	3,0	3,0
Формула перевода натуральных значений факторов в нормированные и обратно	$X_1 = Y_{п.п.} - 4,0$ $Y_{п.п.} = 4,0 + X_1$	$X_2 = P_T - 4,0$ $P_T = 4,0 + X_2$	$X_3 = \frac{K_{y.t.} - 3,5}{1,5}$ $K_{y.t.} = 3,5 + 1,5X_3$

План эксперимента представлен в табл. 6 как неортогональный, так как $\sum_{\substack{j=1 \\ r < s}}^{22} X_{rj} X_{sj} \neq 0$, $r, s = 1, 2, 3$ [10]. Это означает, что варьируемые факторы в той или иной степени являются зависимыми. Математически это утверждение формулируется следующим образом: между тремя факторами существует корреляционная связь, которая лишает вектор-столбцы факторов ортогональности. Если множественная корреляция между факторами X_1, X_2, X_3 с доверительной вероятностью 95 % будет статистически значимой, тогда построение уравнения регрессии (6) в таком виде станет невозможно. В этом случае один из факторов придется исключить. Поэтому прежде чем рассчитывать коэффициенты уравнения регрессии (6), были найдены коэффициенты парной корреляции $R(X_r, X_s)$, которые проверили на статистическую значимость. Коэффициенты парной корреляции рассчитывали по уравнению (7):

$$R(X_r, X_s) = \frac{\sum_{\substack{j=1 \\ r < s}}^{22} (X_{rj} - \bar{X}_r)(X_{sj} - \bar{X}_s)}{\sqrt{\sum_{j=1}^{22} (X_{rj} - \bar{X}_r)^2 \cdot \sum_{j=1}^{22} (X_{sj} - \bar{X}_s)^2}}, \quad (7)$$

где $\bar{X}_1 = \frac{\sum_{j=1}^{22} X_{1j}}{22} = -0,005$; $\bar{X}_2 = \frac{\sum_{j=1}^{22} X_{2j}}{22} = 0,083$; $\bar{X}_3 = \frac{\sum_{j=1}^{22} X_{3j}}{22} = 0,217$, $\sum_{j=1}^{22} (X_{1j} - \bar{X}_1)^2 = 5,713$;
 $\sum_{j=1}^{22} (X_{2j} - \bar{X}_2)^2 = 5,141$; $\sum_{j=1}^{22} (X_{3j} - \bar{X}_3)^2 = 4,905$.

Воспользовавшись рассчитанными средними значениями факторов и суммой их квадратов, определяли коэффициенты парной корреляции факторов:

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

Наличие статистически значимой корреляционной зависимости рассматривали по критерию Стьюдента. Установлено, что парные коэффициенты корреляции факторов X_1, X_2, X_3 статистически незначимы, поэтому зависимость выбранного параметра оптимизации Y от всех трех факторов корректна. Коэффициенты уравнения регрессии первого порядка (6) были найдены путем решения системы 4 линейных уравнений с 4 неизвестными, составленной методом наименьших квадратов. В результате получено следующее уравнение:

$$Y = 3,56 + 0,48X_1 + 0,57X_2 + 0,39X_3. \quad (8)$$

Статистическая обработка результатов эксперимента показала, что все 22 выборочные дисперсии S_j^2 ($j = 1, \dots, 22$) однородны по критерию Кохрена. Трехкратное дублирование каждого опыта ($n = 3$) с учетом однородности всех выборочных дисперсий позволило рассчитать дисперсию воспроизводимости ($S_{воспр}^2$) и число ее степеней свободы ($f_{воспр}$), доверительные интервалы коэффициентов уравнения регрессии $\Delta b_0, \Delta b_1, \Delta b_2, \Delta b_3$ по критерию Стьюдента. Обработка

экспериментальных данных позволила установить, что все рассчитанные коэффициенты уравнения регрессии значимы, так как для всех коэффициентов выполнялось неравенство:

$$\Delta b_r < |b_r|, r = 0, 1, 2, 3. \quad (9)$$

Полученное уравнение регрессии (8) проверяли на адекватность по критерию Фишера. Дисперсия адекватности ($S_{\text{ад.}}^2$) и ее число степеней свободы ($f_{\text{ад.}}$) равны

$$S_{\text{ад.}}^2 = \frac{n\varphi}{N-B} = \frac{3 \cdot 0,709}{22-4} = 0,134, f_{\text{ад.}} = N-B = 18, \quad (10)$$

где $\varphi = \sum_{j=1}^{22} (\bar{Y}_j - Y_j^p)^2 = 0,803$ – остаточная сумма квадратов, $B = 4$ – число значимых коэффициентов уравнения регрессии.

Линейное уравнение регрессии (8) с доверительной вероятностью 95 % адекватно по критерию Фишера, так как $F_3 = 1,599 < 1,904 = F_{18;44;0,95}$ [10]:

$$F_3 = \frac{S_{\text{ад.}}^2}{S_{\text{воспр}}^2} = \frac{0,134}{8,38 \cdot 10^{-2}} = 1,599, \text{ так как } S_{\text{ад.}}^2 > S_{\text{воспр}}^2 \quad (11)$$

где $F_{(N-B);N(n-1);p} = F_{18;44;0,95} = 2,371$ – табличное значение критерия Фишера при числе степеней свободы в числителе $f_{\text{числ}} = N-B = 16$, знаменателе $f_{\text{знам}} = N(n-1) = 44$ и доверительной вероятности $p = 0,95$.

Отметим, что парные коэффициенты корреляции факторов статистически незначимы, поэтому уравнение регрессии (8) содержит все три фактора, но все-таки эти факторы неортогональны, следовательно:

$$S^2(b_1X_1 + b_2X_2) = X_1^2 S^2(b_1) + X_2^2 S^2(b_2) + 2X_1X_2R(X_1, X_2)S(b_1)S(b_2), \quad (12)$$

тогда как для ортогональных факторов X_1, X_2, X_3 уравнение (12) имело бы следующий вид:

$$S^2(b_1X_1 + b_2X_2) = X_1^2 S^2(b_1) + X_2^2 S^2(b_2). \quad (13)$$

С учетом различия уравнений (12) и (13) уточненный расчет доверительных интервалов коэффициентов уравнения регрессии $\Delta b_0, \Delta b_1, \Delta b_2, \Delta b_3$ дает несколько большие величины:

$$\Delta b_0 = 0,07; \Delta b_1 = 0,13; \Delta b_2 = 0,15; \Delta b_3 = 0,16. \quad (14)$$

Сравнительный анализ результатов вычислений позволяет утверждать, что все коэффициенты уравнения регрессии (8) значимы, даже после их незначительной неортогональности.

Уравнение регрессии для прогнозирования показателя безопасности труда операторов МСХТ ($Y_{\text{б.т.}}$) в натуральных значениях факторов (см. табл. 5) имеет следующий вид:

$$Y_{\text{б.т.}} = 0,48Y_{\text{п.п.}} + 0,57\rho_{\text{т.}} + 0,26K_{\text{у.т.}} - 1,55. \quad (15)$$

Ожидаемая оценка показателя безопасности труда оператора МСХТ приведена в табл. 6.

Т а б л и ц а 6. Ожидаемая оценка показателя безопасности труда операторов МСХТ, баллы

Уровень безопасности труда операторов МСХТ	Значение показателя безопасности труда	Профессиональная подготовка, $Y_{\text{п.п.}}$	Травмоопасность технического средства, $\rho_{\text{т.}}$	Условия труда на рабочем месте, $K_{\text{у.т.}}$
Высокий	$4,11 \leq Y_{\text{б.т.}} \leq 5,00$	$4,25 \leq Y_{\text{п.п.}} \leq 5,00$	$4,67 \leq \rho_{\text{т.}} \leq 5,00$	$3,70 \leq K_{\text{у.т.}} \leq 5,00$
Средний	$3,17 \leq Y_{\text{б.т.}} < 4,11$	$3,40 \leq Y_{\text{п.п.}} < 4,25$	$4,34 \leq \rho_{\text{т.}} < 4,67$	$2,40 \leq K_{\text{у.т.}} < 3,70$
Низкий	$2,12 \leq Y_{\text{б.т.}} < 3,17$	$3,00 \leq Y_{\text{п.п.}} < 3,40$	$3,00 \leq \rho_{\text{т.}} < 4,34$	$2,00 \leq K_{\text{у.т.}} < 2,40$

Для анализа каждой составляющей уравнения (15) на показатель безопасности труда ($Y_{\text{б.т.}}$) рассмотрим возможные варианты, при этом условно весомость баллов принята одинаковой [11]. Найдем среднее значение ($D_{\text{ср.}}$), характеризующее общий уровень безопасности труда оператора МСХТ, и проанализируем полученное значение с учетом данных табл. 2–4:

$$D_{\text{ср.}} = \frac{Y_{\text{п.п.}} + \rho_{\text{т.}} + K_{\text{у.т.}}}{3}. \quad (16)$$

Наилучший результат будет при $D_{cp} = 5$ ($Y_{п.п} = 5$; $\rho_t = 5$ и $K_{y.t} = 5$), т. е. при «высоком» уровне профессиональной подготовки оператора, допустимых (или почти допустимых) условиях труда и низкой травмоопасности технического средства. Поэтому такое состояние при $D_{cp} = 5$ баллам можно обозначить как исключительное и назвать «наивысшим уровнем безопасности труда». «Недопустимый уровень безопасности труда» возможен, когда при любых значениях факторов $Y_{п.п}$ и $\rho_t K_{y.t}$ относится к 4-му классу условий труда. В таких ситуациях рабочие места подлежат ликвидации. «Высокий уровень безопасности труда» может наблюдаться при профессиональной подготовке оператора $Y_{п.п} = 3,40-4,25$ балла и когда условия труда соответствуют классам «2» и «3.1». С другой стороны, «высокий уровень безопасности труда» оператора может быть и в том случае, если $K_{y.t} - \langle 3.2 \rangle, \langle 3.3 \rangle$ и «3.4», уровень профессиональной подготовки оператора – «высокий», травмоопасность «низкая». Тогда, с учетом выражения (16), для этих двух вариантов значение $D_{cp} = 4,67$. «Средний уровень безопасности труда» имеет место, если даже низкий уровень профессиональной подготовки оператора МСХТ, но $\rho_t = 5,0-3,4$ балла, $K_{y.t} \langle 2 \rangle$ или «3.1». Также к «среднему уровню безопасности труда» оператора МСХТ можно отнести, когда «средний уровень профессиональной подготовки оператора», условия труда класса «3.2», «3.3» и «3.4» и $\rho_t = 5,0-4,67$. Значение D_{cp} для двух этих вариантов равно 4,0. «Низкий уровень безопасности труда» – это когда $\rho_t = 3,0-4,34$, $Y_{п.п} = 3,17-2,12$ и вредные условия труда ($K_{y.t} \langle 3.2 \rangle, \langle 3.3 \rangle, \langle 3.4 \rangle$), при этом величина $D_{cp} = 3,3$ балла.

Заключение. Результаты исследований позволили получить уравнение регрессии для прогнозирования показателя безопасности труда операторов МСХТ в зависимости от профессиональной их подготовки, травмоопасности технического средства и условий труда. Установлены варианты, при которых рассматриваемый показатель отвечает «высокому» уровню безопасности труда (расчетный показатель 5,0–4,11 балла), а также опасные условия производственной деятельности, свойственные 4-му классу согласно гигиенической классификации условий труда (расчетный показатель – 3,17–2,12 балла). Для устранения возможности проявления такой ситуации рекомендуется приостановить эксплуатацию техники до устранения травмоопасных причин, а оператора МСХТ, как «условно пригодного» [6] работника, рекомендуется на некоторое время перевести на выполнение менее сложной работы с соответствующими дополнительным обучением.

Список использованных источников

1. Система управления охраной труда. Требования: СТБ 18001–2009. – Минск: Госстандарт, 2009. – 17 с.
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. Статистический анализ показателей травматизма в сельскохозяйственных подразделениях / Г. Н. Копылов [и др.] // Пути обеспечения безопасности и средства электромеханизации в сельском хозяйстве: сб. науч. тр. ЛСХИ. – Л., 1999. – С. 28–41.
4. Ильященко, А. А. Способ оценки состояния охраны труда на предприятиях с применением ЭВМ / А. А. Ильященко, В. В. Бедарев // Пути обеспечения безопасности жизнедеятельности в АПК: сб. науч. тр. ЛГАУ. – Л., 1991. – С. 37–40.
5. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков: ГОСТ Р 12.0.010–2009. – М.: Госстандарт, 2009. – 28 с.
6. Мисун, Л. В. Профессиональная успешность и безопасность операторов мобильной сельскохозяйственной техники: психофизиологический отбор и прогнозирование / Л. В. Мисун, А. Н. Гурина. – Минск: БГАТУ, 2013. – 184 с.
7. Мисун, А. Л. Прогнозируемая травмоопасность при восстановлении работоспособности кормоуборочных комбайнов / А. Л. Мисун // Вест. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2016. – С. 179–185.
8. Азаренко, В. В. Исследование причин и условий возникновения опасной ситуации в процессе уборки комовых культур / В. В. Азаренко, А. Л. Мисун // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2015. – № 4. – С. 105–113.
9. Аверьянов, Ю. И. Повышение безопасности человека-оператора при управлении мобильными сельскохозяйственными машинами / Ю. И. Аверьянов, К. В. Глемба, С. Ю. Попов // Вест. Челябин. гос. агр. ун-та. – 2002. – Т. 37. – С. 101–104.
10. Леонов, А. Н. Основы научных исследований и моделирования / А. Н. Леонов, М. М. Дечко, В. Б. Ловкис. – Минск: БГАТУ, 2010. – 276 с.
11. Богданов, А. В. Улучшение условий и охраны труда на основе использования оценочных показателей уровня безопасности работников / А. В. Богданов // Безопасность жизнедеятельности. – 2007. – № 12. – С. 2–3.

Поступила в редакцию 04.04.2016