

Ал-й Л. Мисун

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: LLM_90@mail.ru

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФАКТОРОВ, РАСЧЕТ, КОНТРОЛЬ
И ВЫБОР СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ РИСКАМИ
НА ПРИМЕРЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ**

Аннотация. Выполнено обоснование выбора стратегии управления производственными рисками на примере кормоуборочной техники.

Ключевые слова: кормоуборочная техника, простои, отказы, производственные риски, расчет, контроль, стратегии управления.

Al-i L. Misun

EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: LLM_90@mail.ru

**IDENTIFICATION OF FACTORS, CALCULATION, CONTROL AND SELECTION
OF A STRATEGY FOR MANAGING PRODUCTION RISKS USING THE EXAMPLE
OF OPERATION OF FORAGE HARVESTERS**

Abstract. The rationale for choosing a production risk management strategy has been provided using forage harvesting equipment as an example.

Keywords: forage harvesting equipment, downtime, failures, production risks, calculation, control, strategies management.

Введение

Идентификация факторов производственного риска базируется на решении производственно-технологических и организационно-управленческих задач безопасности труда, характеризующих отношения в системе «человек – производственная среда» [1–13], возможности получения и обработки статистической информации по всей совокупности исходных данных [3–4]. При этом для оценки различных видов производственного риска целесообразно применять статистический подход [5–9] с использованием метода нелинейного логистического регрессионного анализа, устанавливающий связи между несколькими независимыми переменными (предикторами) и зависимой переменной непрерывного типа (вероятностью) при условии, что она может принимать значения на интервале от 0 до 1.

Основная часть

Проведенный анализ статистических данных и литературных источников [1, 3] позволил установить, что к числу травмоопасных технологических процессов производства продукции растениеводства относится заготовка кормов. При этом более 60 % заготавливаемых кормов занимают измельченные, производство которых осуществляется кормоуборочными комбайнами. Анализ данных по травматизму при эксплуатации кормоуборочной техники, аттестации и проверке знаний персонала, обслуживающего процесс уборки кормов (комбайнеры, инженерно-технические работники), проведен по данным службы охраны труда агропредприятий. Для опреде-

ления достоверности полученных данных использован метод сравнения среднеарифметических и относительных значений эмпирических совокупностей.

Факторы риска, связанные с действиями персонала, участвующего в проведении технологического процесса кормоуборки (таблица 1), влияют на простои и отказы кормоуборочного комбайна в процессе его эксплуатации. При этом простои кормоуборочных комбайнов формально могут быть вызваны как техническими причинами, так и действием самих работников.

Таблица 1 – Факторы риска при эксплуатации кормоуборочных комбайнов, связанные с действиями персонала

Группа факторов риска	Категория работников
Опасности, связанные с впервые принятыми на работу	Комбайнеры
	ИТР, ответственные за организацию эксплуатации кормоуборочных комбайнов
Опасности, связанные с работниками, показавшими неудовлетворительные результаты при проверке знаний	Комбайнеры
	ИТР, ответственные за организацию эксплуатации кормоуборочных комбайнов
Опасности, связанные с работниками, отстраненными от работы по результатам производственного контроля (ПК)	Комбайнеры
	ИТР, ответственные за организацию эксплуатации кормоуборочных комбайнов

Для определения риска простоя кормоуборочного комбайна как по техническим причинам (P_1), так и связанного с действиями персонала, участвующего в организации и эксплуатации кормоуборочных комбайнов (P_2), а также риска появления их отказов (P_3) рассматривалось влияние на эти процессы таких предикторов, как количество впервые принятых на работу комбайнеров и ИТР; работников из этих категорий, показавших неудовлетворительные результаты при проверке знаний для комбайнеров и аттестации для ИТР, количество отстраненных комбайнеров и ИТР от работы по результатам производственного контроля (ПК). Решение поставленных задач, выполненное с использованием метода логистического регрессионного анализа и программного комплекса [14–15], позволило получить следующую совокупность зависимостей (1–18):

1. Для риска (P_1) простоя кормоуборочного комбайна по техническим причинам в зависимости от предикторов $x_1 \dots x_6$:

$$P_1 = \frac{\exp(0,71 + 0,52x_1)}{(1 + \exp(0,71 + 0,52x_1))}, \quad (1)$$

где x_1 – число впервые принятых на работу комбайнеров, $N_{\text{в. п. к}}/N_{\text{к}}$; хи-квадрат = 66,91; $p \leq 0,001$;

$$P_1 = \frac{\exp(0,99 + 7,55x_2)}{(1 + \exp(0,99 + 7,55x_2))}, \quad (2)$$

где x_2 – число комбайнеров, показавших неудовлетворительные результаты при проверке знаний $N_{\text{н. к}}/N_{\text{к}}$; хи-квадрат = 56,14; $p \leq 0,001$;

$$P_1 = \frac{\exp(1,04 + 2,77x_3)}{(1 + \exp(1,04 + 2,77x_3))}, \quad (3)$$

где x_3 – число комбайнеров, отстраненных от работы по результатам ПК, $N_{\text{о. к}}/N_{\text{к}}$; хи-квадрат = 39,37; $p \leq 0,001$;

$$P_1 = \frac{\exp(0,42 + 2,92x_4)}{(1 + \exp(0,42 + 2,92x_4))}, \quad (4)$$

где x_4 – число впервые принятых на работу ИТР, $N_{\text{в. п. и}}/N_{\text{и}}$; хи-квадрат = 95,04; $p \leq 0,001$;

$$P_1 = \frac{\exp(1,05 + 5,23x_5)}{(1 + \exp(1,05 + 5,23x_5))}, \quad (5)$$

где x_5 – число ИТР, показавших неудовлетворительные знания при аттестации $N_{\text{а. и}}/N_{\text{и}}$; хи-квадрат = 41,20; $p \leq 0,001$;

$$P_1 = \frac{\exp(1,20 + 3,44x_6)}{(1 + \exp(1,20 + 3,44x_6))}, \quad (6)$$

где x_6 – число ИТР, отстраненных от работы по результатам ПК, $N_{\text{о. и}}/N_{\text{и}}$; хи-квадрат = 13,32; $p \leq 0,001$.

2. Для риска (P_2) простоя кормоуборочного комбайна, обусловленного действиями персонала в зависимости от предикторов $x_1 \dots x_6$:

$$P_2 = \frac{\exp(-2,98 + 0,37x_1)}{(1 + \exp(-2,98 + 0,37x_1))}, \quad (7)$$

где хи-квадрат = 14,93; $p \leq 0,001$;

$$P_2 = \frac{\exp(-2,52 + 1,75x_2)}{(1 + \exp(-2,52 + 1,75x_2))}, \quad (8)$$

где хи-квадрат = 12,04; $p \leq 0,001$;

$$P_2 = \frac{\exp(-2,60 + 1,74x_3)}{(1 + \exp(-2,60 + 1,74x_3))}, \quad (9)$$

где хи-квадрат = 13,67; $p \leq 0,001$;

$$P_2 = \frac{\exp(-2,01 + 0,62x_4)}{(1 + \exp(-2,01 + 0,62x_4))}, \quad (10)$$

где хи-квадрат = 12,24; $p \leq 0,001$;

$$P_2 = \frac{\exp(-2,40 + 1,93x_5)}{(1 + \exp(-2,40 + 1,93x_5))}, \quad (11)$$

где хи-квадрат = 16,72; $p \leq 0,001$;

$$P_2 = \frac{\exp(-1,88 + 1,92x_6)}{(1 + \exp(-1,88 + 1,92x_6))}, \quad (12)$$

где хи-квадрат = 17,08; $p \leq 0,001$.

3. Для риска (P_3) появления отказа кормоуборочного комбайна в зависимости от предикторов $x_1 \dots x_6$:

$$P_3 = \frac{\exp(1,79 + 0,30x_1)}{(1 + \exp(1,79 + 0,30x_1))}, \quad (13)$$

где хи-квадрат = 13,55; $p \leq 0,001$;

$$P_3 = \frac{\exp(1,84 + 5,09x_2)}{(1 + \exp(1,84 + 5,09x_2))}, \quad (14)$$

где хи-квадрат = 23,44; $p \leq 0,001$;

$$P_3 = \frac{\exp(1,76 + 3,95x_3)}{(1 + \exp(1,76 + 3,95x_3))}, \quad (15)$$

где хи-квадрат = 30,50; $p \leq 0,001$;

$$P_3 = \frac{\exp(1,71 + 1,33x_4)}{(1 + \exp(1,71 + 1,33x_4))}, \quad (16)$$

где x_4 – число впервые принятых на работу ИТР, $N_{\text{в. п. и.}}/N_{\text{и.}}$; хи-квадрат = 19,86; $p \leq 0,001$;

$$P_3 = \frac{\exp(1,14 + 9,06x_5)}{1 + \exp(1,14 + 9,06x_5)}, \quad (17)$$

где хи-квадрат = 32,25; $p \leq 0,001$;

$$P_3 = \frac{\exp(1,86 + 12,47x_6)}{(1 + \exp(1,86 + 12,47x_6))}, \quad (18)$$

где хи-квадрат = 42,04; $p \leq 0,001$.

Для удобства пользования сравнительной оценкой производственных рисков при эксплуатации кормоуборочных комбайнов, связанных с их техническим состоянием и действием персонала, участвующего в организации и проведении технологического процесса кормоуборки, произведено табулирование (таблицы 2–7) полученных расчетных зависимостей (1–18).

Таблица 2 – Зависимость риска простоя и отказов кормоуборочных комбайнов от числа впервые принятых на работу комбайнеров

Риски и причины	Число вновь принятых на работу комбайнеров									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Риск простоя и отказов кормоуборочного комбайна, %										
Риск простоя кормоуборочного комбайна по техническим причинам (P_1)	66,95	77,32	85,15	90,61	94,20	96,47	97,87	98,72	99,24	99,55
Риск простоя кормоуборочного комбайна по персоналу (P_2)	4,84	6,86	9,65	13,41	18,33	24,55	32,05	40,61	49,78	58,96
Риск отказов кормоуборочного комбайна (P_3)	85,62	88,97	91,62	93,67	95,25	96,45	97,36	98,03	98,54	98,92

Таблица 3 – Зависимость риска простоя и отказов кормоуборочных комбайнов от числа комбайнеров, показавших неудовлетворительные результаты при проверке знаний

Риски и причины	Число комбайнеров, показавших неудовлетворительные результаты при проверке знаний									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Риск простоя и отказов кормоуборочного комбайна, %										
Риск простоя кормоуборочного комбайна по техническим причинам (P_1)	72,84	85,89	92,39	96,27	98,21	99,15	99,6	99,81	99,91	99,96
Риск простоя кормоуборочного комбайна по персоналу (P_2)	7,46	8,76	10,25	11,98	13,94	16,17	18,68	21,47	24,56	27,93
Риск отказов кормоуборочного комбайна (P_3)	86,26	91,26	94,56	96,65	97,96	98,76	99,25	99,55	99,73	99,84

Таблица 4 – Зависимость риска простоя и отказов кормоуборочных комбайнов от числа комбайнеров, отстраненных от работы по результатам ПК

Риски и причины	Число комбайнеров, отстраненных от работы по результатам ПК									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Риск простоя и отказов кормоуборочного комбайна, %										
Риск простоя кормоуборочного комбайна по техническим причинам (P_1)	73,92	78,9	83,15	86,69	89,58	91,9	93,74	95,18	96,31	97,18
Риск простоя кормоуборочного комбайна по персоналу (P_2)	6,96	8,18	9,58	11,19	13,01	15,13	17,5	20,15	23,08	26,31
Риск отказов кормоуборочного комбайна (P_3)	85,33	89,62	92,76	95,00	97,57	97,67	98,41	98,93	99,27	99,51

Таблица 5 – Зависимость риска простоя и отказов кормоуборочных комбайнов от числа впервые принятых на работу ИТР, ответственных за организацию эксплуатации комбайнов

Риски и причины	Число ИТР, впервые принятых на работу									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Риск простоя и отказов кормоуборочного комбайна, %										
Риск простоя кормоуборочного комбайна по техническим причинам (P_1)	60,28	73,13	83,00	89,75	94,01	96,57	98,06	98,91	99,39	99,66
Риск простоя кормоуборочного комбайна по персоналу (P_2)	11,83	13,19	14,69	16,32	18,09	20,02	22,09	24,31	26,67	29,18
Риск отказов кормоуборочного комбайна (P_3)	84,64	87,78	90,36	92,43	94,09	95,4	96,44	97,24	97,87	98,36

Таблица 6 – Зависимость риска простоя и отказов кормоуборочных комбайнов от числа ИТР, ответственных за организацию их эксплуатации, показавших неудовлетворительные результаты при аттестации

Риски и причины	Число ИТР, показавших неудовлетворительные результаты при аттестации									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Риск простоя и отказов кормоуборочного комбайна, %										
Риск простоя кормоуборочного комбайна по техническим причинам (P_1)	76,86	96,86	92,94	96,32	98,12	99,05	99,52	99,76	99,88	99,94
Риск простоя кормоуборочного комбайна по персоналу (P_2)	7,90	10,22	13,46	16,87	22,08	24,62	28,06	31,65	33,84	35,68
Риск отказов кормоуборочного комбайна (P_3)	80,49	83,27	85,00	85,27	86,39	88,19	91,38	97,65	98,03	98,46

Таблица 7 – Зависимость риска простоя и отказов кормоуборочных комбайнов от числа ИТР, ответственных за организацию их эксплуатации, отстраненных от работы по результатам ПК

Риски и причины	Число ИТР, отстраненных от работы по результатам ПК									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Риск простоя и отказов кормоуборочного комбайна, %										
Риск простоя кормоуборочного комбайна по техническим причинам (P_1)	74,09	78,78	82,82	86,23	89,05	91,35	92,20	94,68	95,86	96,78
Риск простоя кормоуборочного комбайна по персоналу (P_2)	13,28	14,42	15,65	16,96	18,36	19,84	21,41	23,08	24,82	26,66
Риск отказов кормоуборочного комбайна (P_3)	86,48	92,27	95,7	97,65	98,73	99,31	99,63	99,80	99,89	99,94

В процессе анализа статистических данных определено и совместное влияние предикторов на уровень риска возникновения простоя и отказов кормоуборочных комбайнов. Полученные при этом уравнения логистической зависимости позволяют рассчитать:

– риск (P_4) простоя кормоуборочного комбайна, обусловленный числом впервые принятых на работу комбайнеров (x_1) и тех комбайнеров, кто показал неудовлетворительные результаты при проверке знаний (x_2):

$$P_4 = \frac{\exp(-2,91 + 0,27x_1 + 0,86x_2)}{(1 + \exp(-2,91 + 0,27x_1 + 0,86x_2))}, \quad (19)$$

где хи-квадрат = 16,88; $p \leq 0,01$;

– риск (P_5) простоя кормоуборочного комбайна из-за отказов его приборов и устройств безопасности, электрооборудования, обусловленный числом впервые принятых на работу, соответственно, комбайнеров (x_1) и ИТР (x_4):

$$P_5 = \frac{\exp(-0,93 + 0,23x_4 + 0,05x_1)}{(1 + \exp(-0,93 + 0,23x_4 + 0,05x_1))}, \quad (20)$$

где хи-квадрат = 6,52; $p \leq 0,05$;

– риск (P_6) простоя кормоуборочного комбайна по техническим причинам, обусловленный числом ИТР, занятых организацией эксплуатации кормоуборочных комбайнов и впервые принятых на работу ИТР:

$$P_6 = \frac{\exp(-1,25 + (-0,19)x_7 + 0,40x_4)}{(1 + \exp(-1,25 + (-0,19)x_7 + 0,40x_4))}, \quad (21)$$

где x_7 – число ИТР, занятых организацией эксплуатации кормоуборочных комбайнов; хи-квадрат = 10,02; $p \leq 0,01$.

Табулирование полученных зависимостей (19–21) приведено в таблице 8–10.

Таблица 8 – Зависимость риска простоя кормоуборочных комбайнов от числа впервые принятых на работу комбайнеров и комбайнеров, показавших неудовлетворительные результаты при проверке знаний

Число комбайнеров с неудовлетворительным результатом	Число впервые принятых на работу комбайнеров					
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Риск простоя кормоуборочного комбайна по персоналу (комбайнерам), %						
1,0	11,34	14,25	18,71	22,08	28,12	33,60
0,8	10,17	12,66	16,50	20,91	24,38	29,17
0,6	8,66	11,83	14,21	17,09	21,84	26,51
0,4	7,08	9,17	12,48	15,37	18,09	23,46
0,2	6,55	8,03	10,24	13,31	16,45	20,05
0	5,19	7,38	9,22	11,58	14,34	17,81

Таблица 9 – Зависимость риска появления отказов приборов и устройств безопасности, электрооборудования кормоуборочных комбайнов от впервые принятых комбайнеров и ответственных за организацию эксплуатации комбайнов ИТР

Число впервые принятых на работу комбайнеров	Число впервые принятых на работу ИТР					
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Риск отказов приборов и устройств безопасности, электрооборудования кормоуборочного комбайна, %						
1,0	34,72	39,80	45,47	50,18	56,24	62,11
0,8	33,65	38,40	43,92	49,72	55,31	60,08
0,6	32,16	37,22	42,40	48,93	54,52	59,63
0,4	30,09	36,28	41,11	47,28	52,24	58,36
0,2	29,10	34,47	40,29	45,16	51,83	57,09
0	28,34	33,86	39,10	44,68	50,29	56,37

Таблица 10 – Зависимость риска простоя кормоуборочных комбайнов по техническим причинам от общего числа ИТР, занятых организацией эксплуатации кормоуборочных комбайнов и впервые принятых на работу ИТР

Число впервые принятых на работу ИТР	Всего ИТР, занятых организацией эксплуатации кормоуборочных комбайнов					
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Риск простоя кормоуборочного комбайна по техническим причинам, %						
1,0	44,08	42,26	39,45	37,10	35,84	33,24
0,8	39,36	37,65	35,11	32,00	30,57	28,06
0,6	34,85	32,19	30,06	28,19	26,21	25,91
0,4	30,56	28,49	26,38	24,27	23,80	21,70
0,2	26,38	24,26	22,51	21,63	19,76	18,94
0	22,74	21,80	19,69	18,83	16,58	15,00

Результаты анализа эксплуатации кормоуборочных комбайнов позволили выделить и наиболее характерные факторы (предикторы), влияющие на производственные риски, связанные с техническим состоянием комбайнов (количество текущих ремонтов по устранению отказов 2 и 3-й групп сложности, ремонтов с применением сварки) и др. Использование программного комплекса позволило выполнить логит-преобразование риска как одномерной величины, описываемой вероятностью (зависимости 22–24)) [1]:

– риск (P_7) отказов механизмов и элементов привода рабочих органов кормоуборочного комбайна:

$$P_7 = \frac{\exp(1,54 + (-0,47)x_8)}{(1 + \exp(1,54 + (-0,47)x_8))}, \quad (22)$$

где x_8 – количество текущих ремонтов за срок эксплуатации кормоуборочного комбайна; хи-квадрат = 24,98; $p \leq 0,001$,

– риск (P_8) отказов приборов и устройств безопасности, электрооборудования кормоуборочного комбайна:

$$P_8 = \frac{\exp(0,32 + (-0,35)x_8)}{(1 + \exp(0,32 + (-0,35)x_8))}, \quad (23)$$

где хи-квадрат = 15,35; $p \leq 0,001$;

– риск (P_9) отказов металлоконструкции кормоуборочного комбайна:

$$P_9 = \frac{\exp(-0,29 + 0,24x_9)}{(1 + \exp(-0,29 + 0,24x_9))}, \quad (24)$$

где x_9 – количество ремонтов с применением сварки за срок эксплуатации кормоуборочного комбайна; хи-квадрат = 24,76; $p \leq 0,001$;

– риск (P_{10}) возникновения отказов металлоконструкции кормоуборочного комбайна, обусловленный продолжительностью работы комбайна в году [1]:

$$P_{10} = \frac{\exp(-0,69 + 0,14x_{10})}{(1 + \exp(-0,69 + 0,14x_{10}))}, \quad (25)$$

где x_{10} – продолжительность работы кормоуборочного комбайна в году; хи-квадрат = 18,75; $p \leq 0,001$,

– риск (P_{11}) возникновения отказов механизмов и элементов привода рабочих органов кормоуборочного комбайна, обусловленный продолжительностью работы комбайна в году:

$$P_{11} = \frac{\exp(0,81 + 0,21x_{10})}{(1 + \exp(0,81 + 0,21x_{10}))}, \quad (26)$$

где хи-квадрат = 14,18; $p \leq 0,001$.

Для удобства практического использования полученных результатов (выражения (22–26)) выполнена табуляция расчетных зависимостей (таблицы 11–13).

Таблица 11 – Зависимость риска возникновения отказов кормоуборочного комбайна от количества текущих ремонтов

Риски (P_7 ; P_8) возникновения отказов, %	Количество текущих ремонтов кормоуборочного комбайна, N_T									
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Механизмы и элементы привода рабочих органов кормоуборочного комбайна	81,75	73,34	64,26	51,28	40,82	28,90	19,46	12,95	8,26	5,28
Приборы и устройства безопасности, электрооборудования кормоуборочного комбайна	56,23	48,41	39,74	31,80	25,68	18,92	14,22	9,39	6,18	4,25

Примечание: составлено на основе [1].

Таблица 12 – Зависимость риска возникновения отказов металлоконструкции кормоуборочного комбайна от количества ремонтов с применением сварки

Риск (P_9) возникновения отказов, (%)	Количество ремонтов с применением сварки за срок эксплуатации кормоуборочного комбайна, N_c												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Металлоконструкция кормоуборочного комбайна	18,3	47,84	53,8	58,41	64,77	70,29	75,03	78,70	83,30	86,12	88,23	91,17	92,96

Примечание: составлено на основе [1].

Таблица 13 – Зависимость риска возникновения отказов металлоконструкции кормоуборочного комбайна, механизмов и элементов привода его рабочих органов от продолжительности работы комбайна в году

Риски ($P_{10}; P_{11}$) возникновения отказов, %	Продолжительность работы кормоуборочного комбайна в году (N_r), дн.					
	1	25	50	100	150	200
Металлоконструкция кормоуборочного комбайна	14,45	33,42	36,81	42,13	52,84	64,73
Механизмы и элементы привода рабочих органов кормоуборочного комбайна	27,42	71,30	78,00	81,24	84,22	86,12

Примечание: составлено на основе [1].

Используемый логистический метод регрессионного анализа также позволяет получить зависимости для расчета риска возникновения отказов кормоуборочного комбайна при совместном действии предикторов, например:

– риск (P_{12}) возникновения отказов металлоконструкции кормоуборочного комбайна, обусловленный режимом его эксплуатации и продолжительностью работы комбайна в году (таблица табуляции 14):

$$P_{12} = \frac{\exp(0,94 + 0,005x_{10} + 0,16x_{11})}{(1 + \exp(0,94 + 0,005x_{10} + 0,16x_{11}))}, \quad (27)$$

где x_{11} – режим эксплуатации кормоуборочного комбайна с подборщиком (первый), с жаткой для уборки трав (второй), с жаткой для уборки высокостебельных культур (третий), хи-квадрат = 13,20; $p \leq 0,001$.

Таблица 14 – Зависимость риска возникновения отказов металлоконструкции кормоуборочного комбайна от режима его эксплуатации и продолжительности работы в году

Режим эксплуатации кормоуборочного комбайна	Продолжительность работы кормоуборочного комбайна в году (N_r), дней					
	1	25	50	100	150	200
Риск возникновения отказов металлоконструкции кормоуборочного комбайна, %						
Первый	17	63	76	80	85	86
Второй	22	67	79	82	87	89
Третий	24	71	83	85	90	92

Примечание: составлено на основе [1].

– риск (P_{13}) возникновения отказов механизмов и элементов привода рабочих органов кормоуборочного комбайна, обусловленный режимом эксплуатации и продолжительностью работы комбайна в году (таблица 15):

$$P_{13} = \frac{\exp(0,30 + 0,0005x_{10} + 0,15x_{11})}{(1 + \exp(0,30 + 0,0005x_{10} + 0,15x_{11}))}, \quad (28)$$

где хи-квадрат = 16,84; $p \leq 0,001$;

Таблица 15 – Зависимость риска возникновения отказов механизмов и элементов привода рабочих органов кормоуборочного комбайна от режима эксплуатации и продолжительности работы комбайна в году

Режим эксплуатации кормоуборочного комбайна	Продолжительность работы кормоуборочного комбайна в году (N_r), дней					
	1	25	50	100	150	200
Риск возникновения отказов механизмов и элементов привода рабочих органов кормоуборочного комбайна, %						
Первый	12	61	61	73	75	79
Второй	16	63	66	78	78	83
Третий	19	67	70	80	84	85

Примечание: Примечание: составлено на основе [1].

– риск (P_{14}) возникновения отказов приборов и устройств безопасности кормоуборочного комбайна, электрооборудования, обусловленный режимом эксплуатации и продолжительностью работы комбайна в году (таблица табуляции 16):

$$P_{14} = \frac{\exp(-0,06 + 0,0008x_{10} + 0,14x_{11})}{(1 + \exp(-0,06 + 0,0008x_{10} + 0,14x_{11}))}, \quad (29)$$

где хи-квадрат = 10,57; $p \leq 0,001$.

Таблица 16 – Зависимость риска возникновения отказов приборов и устройств безопасности кормоуборочного комбайна, электрооборудования от режима эксплуатации и продолжительности работы комбайна в году

Режим эксплуатации кормоуборочного комбайна	Продолжительность работы кормоуборочного комбайна в году (N_r), дней					
	1	25	50	100	150	200
Риск возникновения отказов приборов и устройств безопасности, электрооборудования кормоуборочного комбайна, %						
Первый	17	46	48	49	54	56
Второй	19	49	52	52	58	59
Третий	22	56	55	57	61	62

Примечание: составлено на основе [1].

– риск (P_{15}) возникновения отказов питающе-измельчающего аппарата кормоуборочного комбайна, обусловленный режимом эксплуатации и продолжительностью работы комбайна в году (таблица табуляции 17):

$$P_{15} = \frac{\exp(-2,97 + 0,002x_{10} + 0,30x_{11})}{(1 + \exp(-2,97 + 0,002x_{10} + 0,30x_{11}))}, \quad (30)$$

где хи-квадрат = 105,19; $p \leq 0,001$.

Таблица 17 – Зависимость риска возникновения отказов питающе-измельчающего аппарата кормоуборочного комбайна от режима его эксплуатации и продолжительности работы комбайна в году

Режим эксплуатации кормоуборочного комбайна	Продолжительность работы кормоуборочного комбайна в году (N_r), дней					
	1	25	50	100	150	200
Риск возникновения отказов питающе-измельчающего аппарата кормоуборочного комбайна, %						
Первый	6	18	28	36	51	66
Второй	8	26	36	48	63	84
Третий	11	33	46	60	81	92

Примечание: составлено на основе [1].

Приведенные таблицы (11–17) позволяют не только произвести количественную оценку риска возникновения отказов кормоуборочного комбайна, обусловленных действием разных предикторов и их сочетаний, но и упростить осуществление контроля расчетных значений различных его видов.

Для определения безопасности ($K_{Бр_i}$) выполнения отдельно взятой i -й технологической регулировки (устранения отказа) при эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники (МСХТ), в том числе кормоуборочных комбайнов, использовалась следующая формула [16]:

$$K_{Бр_i} = 1,5K_{П_{ik}} - 0,5K_{П_{ik}}^2, \quad (31)$$

где $K_{П_{ik}}$ – приспособленность МСХТ к безопасному выполнению технологического процесса во время эксплуатации МСХТ [16].

$$K_{\Pi ik} = \frac{15,3S_{ik}^l - 17,4S_{ik} - S_{ik}^m}{176t}, \quad (32)$$

где S_{ik} – сумма баллов экспертной оценки показателей удобства, доступности и безопасности i -й технологической регулировки МСХТ; S_{ik}^l и S_{ik}^m – соответственно сумма квадратов и кубов баллов, выставленных экспертами за удобство, доступность и безопасность проведения i -й регулировки k -го технического средства; t – число показателей приспособленности i -й регулировки k -го технического средства.

Показатель травмирования (P_{Rik}) оператора МСХТ (комбайнера, тракториста-машиниста, водителя) при выполнении, например, i -й технологической регулировки при эксплуатации k -го технического средства, используемого в технологическом процессе, можно записать как $1 - K_{Бр_i}$. Тогда, с учетом выражения (31), а также показателя статистической вероятности выполнения за смену i -й регулировки k -го технического средства (p_{ik}) и коэффициента $K_{п.с.}$, учитывающего влияние выполненной сверх установленного регламентом i -й регулировки при эксплуатации k -го технического средства на показатель травмирования оператора МСХТ, формула для определения P_{Rik} представлена следующим образом [16]:

$$P_{Rik} = [1 - (1,5K_{\Pi ik} - 0,5K_{\Pi ik}^2)]p_{ik}K_{п.с.} \quad (33)$$

Для определения прогнозного обобщенного показателя травмирования оператора МСХТ (производственного риска) $P_{R_{т.с.}}$ с учетом ее приспособленности к выполнению технологического процесса в условиях изменяющегося параметра состояния производственной среды, антропометрических характеристик оператора МСХТ используется формула для расчета средней геометрической значений $P_{R_{ik}}$:

$$P_{R_{т.с.}} = \sqrt[n]{P_{R_{i1k}} \cdot P_{R_{i2k}} \cdot \dots \cdot P_{R_{ink}}}, \quad (34)$$

где $P_{R_{i1k}}, P_{R_{i2k}}, \dots, P_{R_{ink}}$ – производственный риск при выполнении i -й регулировки (устранения отказов) ($i = 1; 2 \dots; n$) при эксплуатации k -го технического средства в условиях изменяющихся параметров состояния производственной среды.

Показатель безопасности проведения технологических регулировок (устранения отказов) при эксплуатации технического средства в условиях изменяющегося параметра состояния производственной среды $P_{т.р.}$ рассчитывается по формуле [16]

$$P_{т.р.} = \prod_{k=1}^m P(A_k), \quad (35)$$

где m – количество технологических регулировок (отказов); $P(A_k)$ – вероятность безопасного выполнения технологической регулировки (устранения отказа) k -го технического средства [16]:

$$P(A_k) = 1 - P_{R_{т.с.}}$$

Полученные аналитические зависимости (32–33) позволили с учетом данных травматизма в растениеводческой отрасли АПК обосновать количественные показатели уровня производственного риска (таблица 18) и разработать для их определения алгоритм, реализованный в компьютерной программе [17].

Предугадать сценарий и результат безопасного производства не всегда представляется возможным в силу множества неопределенностей человеческой, организационно-технической, экономической и социальной направленности. Принятие решения и управление безопасностью труда в таких случаях связано с вероятностной определенностью, т. е. с понятием риска, от особенностей которого во многом зависят применяемые методы оценки и управления риском. При этом существование остаточного риска обуславливается невозможностью с точностью до 100 % прогнозировать будущее. В тоже время риск имеет место только по отношению к будущему и неразрывно связан с прогнозированием и планированием, а значит, и с принятием решений

Таблица 18 – Классификация происшествий по уровню производственного риска при возделывании сельскохозяйственных культур

Уровень производственного риска	
Наименование уровня	Показатель уровня, % / травм за год
минимальный	до 14,0 / 1...5
предельный	14,0...29,9 / 6...11
значительный	30,0...46,9 / 12...17
угрожающий	47,0...63,9 / 18...23
катастрофический	64,0 и более / 24...37

Примечание: составлено на основе [1].

вообще. Кроме того, управление риском подразумевает реализацию последовательных действий, начиная со сбора предварительной информации об объекте исследования и заканчивая повторной оценкой после реализации выработанных корректирующих действий (рисунок 1).

Для управления производственным риском при эксплуатации МСХТ для растениеводческой отрасли АПК – выработке корректирующих действий по предотвращению повышения уровня производственного риска, необходимо:

- проанализировать полученные значения показателя приспособленности МСХТ к технологическим регулировкам ($K_{Пт.с}$) и безопасности их выполнения ($K_{Бпр}$);
- определить прогнозируемый показатель безопасности управления технологическим процессом при эксплуатации МСХТ ($K_{Бпр}$);
- рассмотреть с учетом полученных значений показателей ($K_{Пт.с}$; $K_{Бпр}$; $K_{Бпр}$) соответствие технического состояния МСХТ производственным условиям выполнения технологического процесса.

В случае несоответствия:

- определить показатель приспособленности МСХТ к безопасному выполнению технологических регулировок;
- обосновать безопасные режимы эксплуатации МСХТ.

Выработку корректирующих действий по предотвращению повышения уровня производственного риска при эксплуатации МСХТ рекомендуется осуществлять посредством моделирования технологического процесса, с учетом уточненного показателя приспособленности МСХТ к безопасному выполнению технологических регулировок (рисунок 2), интенсивности их выполнения и изменения параметра состояния производственной среды (таблица 19). Установлено, что даже при «хорошей приспособленности», например, технического средства к технологическим регулировкам ($K_{Пт.с} = 0,8$), но двукратном (с 15 до 30 раз) увеличении изменения состояния параметра производственной среды, показатель травмирования оператора МСХТ возрастает в 1,15 раз [16].

Для осуществления контроля производственного риска может использоваться пятиуровневый классификатор, шкалы которого рассчитываются с использованием обобщенной функции желательности Харрингтона. Функция желательности является результатом наблюдений за реальными решениями экспертов в различных областях знаний и обладает такими полезными свойствами как непрерывность и монотонность. Кроме того, функция Харрингтона хорошо передает тот факт, что в областях желательностей, близких к 0 и 1, «чувствительность» предпочтений при принятии решений ниже, чем в срединной зоне.

Используя принцип аналогий, а также определение производственного риска в области безопасности труда как зоны нереализуемой полезности, в пределах которой существует возможность снижения или недополучения желаемого результата, т. е. величины обратной желательности, предложена шкала для контроля тех видов риска безопасности труда, которые не имеют строгого нормативного обоснования (таблица 20).

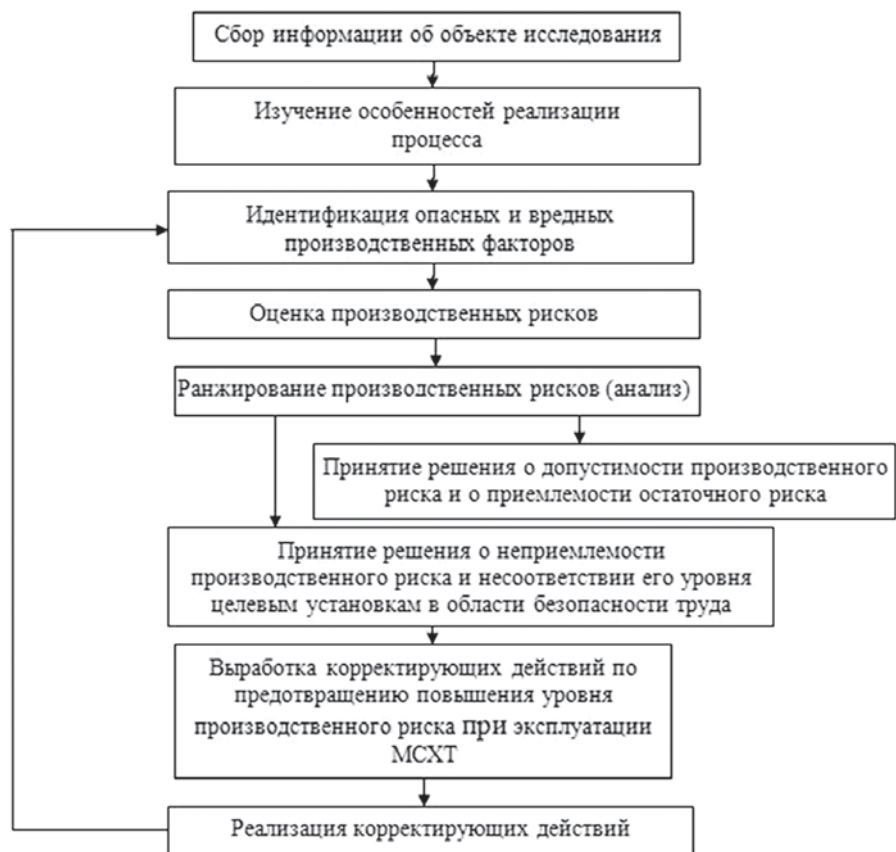


Рисунок 1 – Стратегия управления производственным риском при эксплуатации МСХТ [16]



Рисунок 2 – Номограмма для оценки производственного риска с учетом интенсивности выполнения технологических регулировок при эксплуатации МСХТ

Таблица 19 – Показатель травмирования оператора МСХТ при выполнении технологических регулировок с учетом изменения состояния параметра производственной среды

Наименование показателя	Количество изменений за смену параметра состояния производственной среды, раз					
	5	10	15	20	25	30
Показатель травмирования ($P_{R_{т.с}}$) оператора МСХТ при выполнении технологических регулировок, %:						
при $K_{Пт.с} = 0,4$	12,10	12,60	13,10	13,60	14,20*	14,80*
$K_{Пт.с} = 0,6$	8,45	8,60	8,80	9,00	9,30	9,60
$K_{Пт.с} = 0,8$	3,34	3,38	3,48	3,63	3,80	4,00

Примечание: составлено на основе [16]. *Уровень производственного риска – «предельный».

Таблица 20 – Шкалирование рисков безопасности труда с учетом функции желательности Харрингтона

Наименование уровня желательности	Интервал шкалы желательности	Наименование уровня производственного риска	Интервал производственных рисков в области безопасности труда
очень хорошо	1–0,80	очень низкий	0–0,20
хорошо	0,79–0,64	низкий	0,21–0,36
удовлетворительно	0,63–0,37	средний	0,37–0,63
плохо	0,36–0,21	высокий	0,64–0,79
очень плохо	0,20–0	очень высокий	0,80–1

Как видно из таблицы 20, границы средних значений производственного риска соответствует величина 0,37. Средняя («седловая») точка, соответствующая величине производственного риска, равного 0,5, также не выходит за пределы удовлетворительной желательности и среднего его уровня, поскольку реализует принцип осторожности.

В заключении необходимо отметить те преимущества, которые имеет подход расчета и контроля производственных рисков, сочетающий получение регрессионных уровней различных видов производственных рисков с последующей табуляцией полученных с их помощью численных значений:

- возможность количественного прогноза риска отказов и простоев кормоуборочной техники, обусловленных действием различных трудно поддающихся оценке аспектов «человеческого фактора»;
- возможность учета синергетических эффектов от совместного действия нескольких факторов производственного риска как одинаковой, так и различной природы (относящихся к различным видам риска);
- возможность оперативной оценки производственного риска в условиях изменяющихся значений (колебаний) одного или нескольких факторов его обуславливающих;
- простоту применения полученного математического описания производственного риска, не требующего специальной подготовки, что позволяет использовать его не только специалистами (ИТР), занятыми контролируемыми функциями, но и работниками первичного звена (операторами МСХТ);
- достоверность полученного математического описания производственного риска, подтвержденную общепринятыми статистическими критериями.

Выбор стратегии управления производственными рисками базируется на контроле достигнутых их уровней посредством трех- и пятиуровневых классификаторов (таблица 21). В частности, если контроль риска по пятиуровневому классификатору показывает, что его величина соизмерима с «очень низким» (или «низким» для трехуровневого классификатора) уровнем, то производственным риском можно пренебречь и дальнейшие шаги по его управлению необязательны. То есть в данном случае стратегией управления выступает «сохранение» (упразднение)

производственного риска. Если оцениваемый производственный риск находится на «среднем» уровне, то в качестве стратегии управления целесообразно выбрать его «уменьшение» (предотвращение), что предполагает реализацию мероприятий, направленных на снижение негативного воздействия факторов и условий производственной среды на работающих.

Таблица 21 – Уровни количественной оценки и контроля производственных рисков

Уровни пятиуровневого классификатора	Стратегии управления производственным риском	Уровни трехуровневого классификатора	Стратегия управления производственным риском
очень низкий	сохранение	–	–
низкий	сохранение с частичным уменьшением	низкий	сохранение
средний	уменьшение	средней	уменьшение
высокий	уменьшение с частичной передачей	высокий	передача
очень высокий	передача	–	–

Если величина производственного риска по пятиуровневому классификатору может быть отнесена к «очень высокому» («высокому» для трехуровневого классификатора) уровню, то целесообразно реализовать стратегию передачи производственного риска посредством механизма страхования. Пятиуровневый классификатор позволяет также реализовать и смешанные стратегии управления производственным риском, если его величина находится в переходных областях «низкого» и «высокого» уровней, а уровень приемлемого производственного риска не должен превышать «низкий» уровень для обоих видов классификаторов. Также необходимо отметить, что реализуемыми на практике являются только две стратегии управления рисками – «уменьшение» и «передача».

Заключение

В результате проведенных исследований дана количественная оценка влияния различных предикторов и их сочетаний на производственные риски, приведена табуляция расчетных значений и стратегии управления производственными рисками.

Список использованных источников

1. Мисун, А. Л. Прогнозирование производственных рисков при эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники / А. Л. Мисун, А. В. Гаркуша // Вестник Полоцкого государственного университета. Промышленность. Прикладные науки. – 2025. – № 1. – С. 29–32.
2. Системы менеджмента. Здоровье и безопасный путь профессиональной деятельности. Требования и руководство по применению : СТБ ISO 45001 ; введ. 25.02.2020. – Мн. : Госстандарт, 2020. – 32 с.
3. 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.
4. Гаранин, М. А. Корреляционное исследование влияния причин несчастных случаев на статистические показатели производственного травматизма / М. А. Гаранин, А. М. Завьялов, Ю. В. Дементьева // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2017. – № 3. – С. 109–120.
5. Завьялов, А. М. Прогнозирование производственного травматизма на основе множественного регрессионного анализа / А. М. Завьялов, Ю. В. Дементьева, Д. Л. Раенок // Проблемы безопасности российского общества. – 2017. – № 2. – С. 36–50.
6. Левашов, С. П. Автоматизированная система оценки рисков профессионального травматизма работников сельскохозяйственного производства / С. П. Левашов // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 6. – С. 58–61.
7. Аксенов, В. А. Методический подход к анализу и прогнозированию рисков травмирования на рабочих местах в хозяйстве / В. А. Аксенов, А. М. Завьялов, Ю. В. Дементьева // Качество и жизнь. – 2018. – № 2. – С. 93–96.
8. Пять шагов оценки риска. – 2007. – URL: <http://osha.europa.eu/eu/campaigne/hwi/about/material/rat> 2007 (дата обращения: 26.11.2024).
9. Ворошилов, А. С. Оценка рисков травматизма / А. С. Ворошилов // Охрана и экономика труда. – 2015. – № 4. – С. 42–45.
10. Рискоориентированный подход к управлению безопасностью и рисками / Г. З. Файнбург // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2016. – № 5. – С. 240–251.

11. Tanaka, K. Production risk management system with demand probability distribution / K. Tanaka, H. Akimoto, M. Inoue // *Advanced Engineering Informatics*. – 2012. – № 26. – С. 46–54.
12. Склеменов, Г. Ж. О процессе управления рисками / Г. Ж. Склеменов, С. А. Солод, В. В. Новиков // *Охрана и экономика труда*. – 2015. – № 1. – С. 45–48.
13. Соложенцев Е. Д. Технологии управления риском в структурно-сложных системах / Е. Д. Соложенцев. – СПб. : ГУАП, 2013. – 414 с.
14. Реброва, О. Ю. Статистический анализ данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA / О. Ю. Реброва. – М. : МедиаСфера, 2003. – 312 с.
15. Боровиков, В. П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA: методология и технология современного анализа данных / В. П. Боровиков. – М. : Горячая линия – Телеком, 2018. – 288 с.
16. Мисун, Ал-й Л. Научно-методические основы повышения техносферной безопасности на объектах АПК : монография / Ал-й Л. Мисун, Ал-р Л. Мисун. – Мн. : Бел. гос. агр. техн. ун-т, 2025. – 388 с.
17. Тестирование функционального состояния технического средства с учетом оценки его приспособленности к технологическим регулировкам и безопасности их выполнения: компьютер. программа (свидетельство о госрегистрации № 1166) / А. Л. Мисун, В. В. Азаренко / Нац. центр интелект. собственности Республики Беларусь, 2019.