

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ТРАВМАТИЗМА В АПК И ПУТЕЙ ЕГО СНИЖЕНИЯ

Шкрабак Роман Владимирович, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Безопасность технологических процессов производств» ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».
196601, Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2.
Тел.: 8(812)451-76-18.

Ключевые слова: анализ, теоретический, распределение, показатель, частота, травматизм, пути, снижение.

В статье приведена принципиальная схема взаимосвязи видов работ в АПК, поражающих факторов и исходов травмирования в с.-х. производстве, а также теоретический анализ распределения показателя частоты травматизма в АПК и обоснованные пути его снижения. Доказано, что коэффициент частоты травматизма распределяется на предприятиях АПК по нормальному закону.

Сельскохозяйственное производство в стране и мире является одной из отраслей с самым большим многообразием видов работ, диктуемых выращиваемыми культурами, их технологиями, методами и средствами выполнения, погодой, периодом года, агробиологическими сроками и др. обстоятельствами. Эта многопрофильность работ приводит к возникновению своеобразных травм и влиянию этого многообразия на виды и количество травм. Причем в каждом периоде года встречаются травмы, характерные для круглогодичного периода (например, опрокидывание агрегатов, придавливание кузовами самосвалов и прицепов и др.), для определенного сезона (например, обморожение зимой, травмы на ледовых переправах и др.), и травмы, имеющие место при выполнении отдельных видов работ в растениеводстве, животноводстве, строительстве, на сенозаготовках (транспортные, погрузочно-разгрузочные и др.). Проявляются травмы в виде термических, химических, механических, электромагнитных, психофизиологических, радиационных, биологических и др. воздействий на организм в целом и его составляющие. По исходам различают травмы летальные, тяжелые, с временной утратой трудоспособности.

Существующая в мире и стране система профилактики травматизма, в общем, является не совсем эффективной, хотя и заслуживает одобрения. Вместе с тем, наличие производственных травм свидетельствует о неиспользованных потенциальных возможностях существующей системы профилактики для динамичного снижения и ликвидации производственного травматизма; сложившаяся ситуация полностью соответствует требованиям Конституции Российской Федерации [1], главы X Трудового кодекса страны [2], требованиям системы стандартов безопасности (ССБТ) [3, 4], обоснованной стратегии и тактики динамичного снижения и ликвидации производственного травматизма в АПК [5]. Кроме того, нуждаются в теоретическом анализе распределение показателей травматизма, в частности $K_{ч}$, и пути его снижения [6].

Цель исследований – обоснование принципиальной схемы взаимосвязи видов работ в АПК, поражающих факторов при их выполнении и исходов травмирования.

Задачи исследований – провести анализ источников травмирования и их видов на основных сельскохозяйственных работах, выполнить теоретический анализ распределения показателя частоты травматизма и обосновать пути его снижения.

Анализ типичных сельскохозяйственных работ позволил обосновать принципиальную схему взаимосвязи видов работ в АПК, поражающих и травмирующих факторов, их исходов травмирования при выполнении различных работ в типичные периоды года. Предложенная схема представлена на рисунке 1.

Анализ рисунка 1 показывает, что в сельскохозяйственном производстве, являющемся многоотраслевым, наличествует многофакторная ситуация травмирования практически по всем показателям (по источникам травмирования, времени и тяжести его, частоты происхождения, исходов, сезонам работ и их видам и др.).

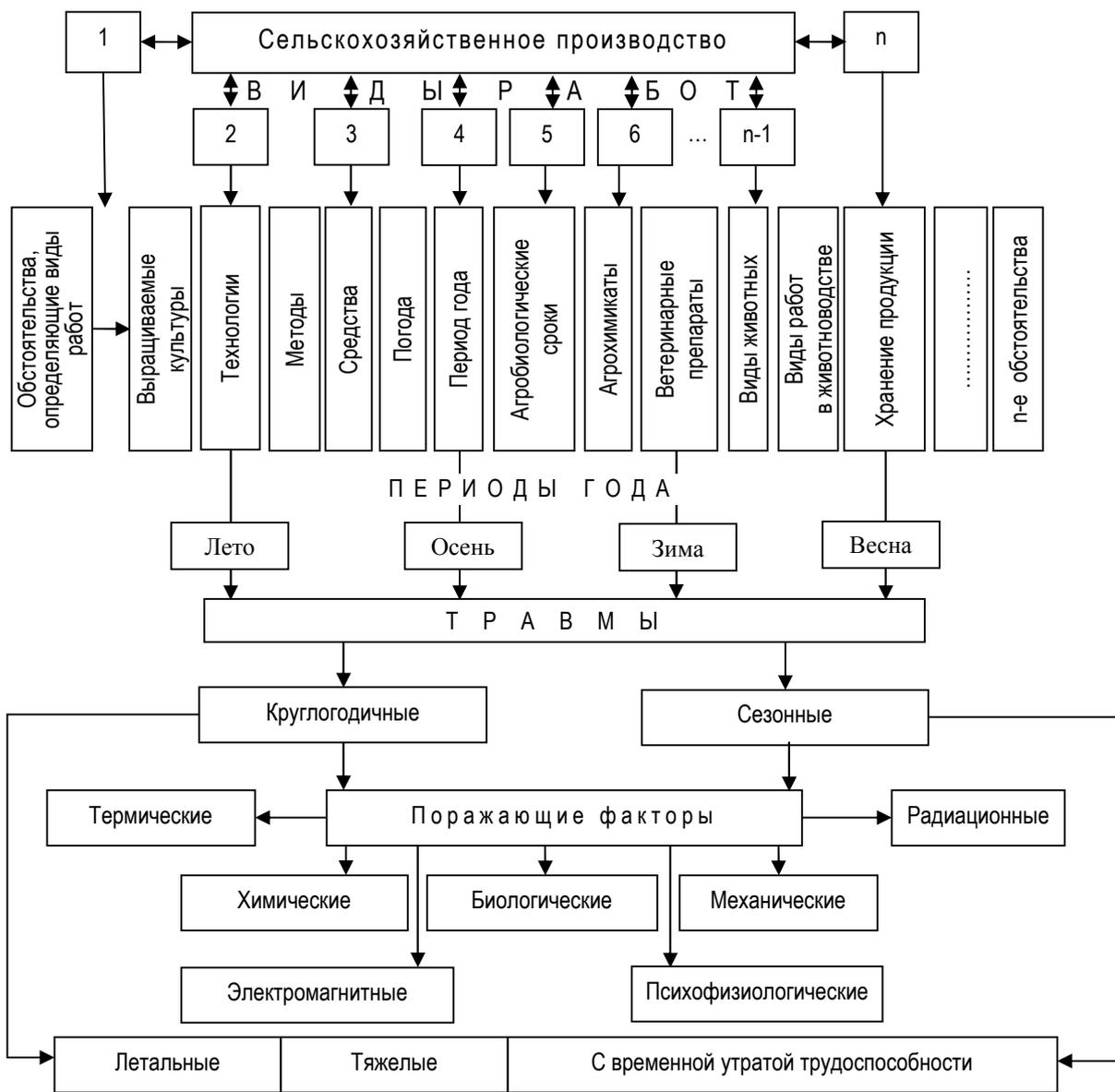


Рис. 1. Принципиальная схема взаимосвязи видов работ в АПК:

1, 2, ... n – виды работ; n-е обстоятельства – многообразие обстоятельств, генерирующих многообразие видов работ

Рассматривая эту ситуацию применительно к отрасли, положим, что число травмоопасных ситуаций в год N_T , а число их, приведших к i -й травме за это время, N_i . Учитывая особенности сельскохозяйственного производства (его многоплановость и многофакторность), а также неопределенность поведения оператора (человека) в условиях, приведших к травме, правомерно полагать, что как N_T , так и все N_i есть случайные величины. Сумма $\sum_{i=1}^k N_i$ определяет число травмоопасных ситуаций, приводящих к появлению K травм в течении года. Очевидно, что реализациями случайной величины K является k_i . Число травмоопасных ситуаций N_k , возникающих (или могут возникнуть) после реализации K_i травм определим так:

$$N_k = N_T - \sum_{i=1}^k N_i. \quad (1)$$

Тогда вероятность

$$\beta_k = P(K < k) = P(N_k < 0) \quad (2)$$

будет функцией распределения случайной величины K .

Разделив величины под знаком вероятности в выражении (2) на число работающих (для больших предприятий – в тысячах) M и обозначив

$$X = K/M; \quad x = k/M, \quad (3)$$

получим функцию распределения случайной величины X :

$$F(X) = P(X < x) = P(N_k/M < 0). \quad (4)$$

Поскольку для региона N_k есть сумма достаточного большого числа случайных величин, естественно полагать ее распределение по нормальному закону. Положим, что вес N_i – независимые случайные

величины с распределением, совпадающим с распределением случайной величины N. Тогда для N имеем математическое ожидание и дисперсию:

$$m_{(N_k/M)} = \frac{m_{N_k} - Km_N}{M}; \quad D_{(N_k/M)} = \frac{D_{N_k} + K^2 D_{N_k}}{M^2}. \quad (5)$$

Обозначая

$$m_{N_1}/Mm_N = n_1; \quad D_{N_2}/MD_N = n_2; \quad m_N(M/D_N)^{0.5} = \mu, \quad (6)$$

с учетом нормального распределения N_k имеем для случайной величины X функцию распределения:

$$F(x) = 0,5[1 - \Phi(\mu(n_1 - x)/(n_2 + x)^{0.5})], \quad (7)$$

где $\Phi(x)$ – функция Лапласа

$$\Phi(x) = (2/\pi)^{0.5} \int_0^x e^{-0.5\xi^2} d\xi. \quad (8)$$

Дифференцируя, получаем плотность распределения

$$f(x) = F'(x) = \frac{0,5\mu(n_1 + 2n_2 + x)}{\sqrt{2\pi}(n_2 + x)^{1.5}} e^{-\frac{0,5\mu^2(n_1 - x)^2}{(n_2 + x)}}. \quad (9)$$

Находим математическое ожидание m_x и дисперсию D_x распределения, которую назовем X-распределением.

Обозначим:

$$n = n_1 + n_2; \quad y = n_2 + X. \quad (10)$$

Плотность распределения имеет вид:

$$f(y) = \frac{0,5\mu(n+y)}{\sqrt{2\pi}} e^{-0,5\mu^2(n-y)^2 \cdot y^{-1}}. \quad (11)$$

Определим начальный момент α_m «m» порядка:

$$\alpha_m = m_{y^m} = \frac{0,5\mu}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty y^{m-1,5} (n+y) e^{-0,5\mu^2(n-y)^2 \cdot y^{-1}} dy.$$

Введем обозначение

$$\lambda = 0,5\mu\sqrt{n} \quad (12)$$

и, вводя новую переменную $z = n \cdot y$, разобьем интеграл на два:

$$\alpha_m = \frac{0,5\lambda n^m}{\sqrt{2\pi}} \left[\int_0^1 z^{m-1,5} (1+z) e^{-\frac{\lambda^2(1-z)^2}{z}} dz + \int_0^\infty z^{m-1,5} (1+z) e^{-\frac{\lambda(1-z)^2}{z}} dz \right].$$

Вводя во второй интеграл замену $Z=1/s$, получим для α_m :

$$\alpha_m = \frac{0,5\lambda n^m}{\sqrt{\pi}} \int_0^1 \left(\frac{1}{\sqrt{z}} + \sqrt{z} \right) \left(z^{m-1} + \frac{1}{z^{m+1}} \right) e^{-\lambda^2 \left(\frac{1}{\sqrt{z}} - \sqrt{z} \right)^2} dz.$$

Очередная замена вида

$$1/\sqrt{z} - \sqrt{z} = t \quad (13)$$

приводит к интегралу:

$$\alpha_m = m_{y^m} = \frac{\lambda n^m}{\sqrt{\pi}} \int_0^\infty \left(z^m + \frac{1}{z^m} \right) e^{-\lambda^2 t^2} dt. \quad (14)$$

Возводя выражение (13) в целые степени, получаем:

$$\begin{aligned} \frac{1}{z} + z &= t^2 + 2; & \frac{1}{z^2} + z^2 &= t^4 + 4t^2 + 2; \\ \frac{1}{z^3} + z^3 &= t^6 + 6t^4 + 9t^2 + 2 \end{aligned} \quad (15)$$

и т.д.

Теперь вычисление начальных моментов сводится к вычислению интегралов типа

$$J(m) = \int_0^\infty t^m e^{-\lambda^2 t^2} dt. \quad (16)$$

Интегрируя выражение (16) по частям, получаем:

$$J(m) = \frac{m-1}{2\lambda^2} J(m-2). \quad (17)$$

Используя выражения (16) и (17), имеем:

$$J(0) = \frac{\sqrt{\pi}}{2\lambda}; \quad J(2) = \frac{3\sqrt{\pi}}{8\lambda^3}; \quad J(4) = \frac{5\sqrt{\pi}}{8\lambda^5} \dots \quad (18)$$

Далее в соответствии с (14-18) получим:

$$m_y = n \left(1 + \frac{1}{4\lambda^2} \right); \quad m_{y^2} = n^2 \left(1 + \frac{1}{\lambda^2} + \frac{3}{8\lambda^4} \right). \quad (19)$$

Переходя к дисперсии, имеем:

$$D_y = m_y - m_{y^2} = n^2 \left(\frac{1}{2\lambda^2} + \frac{5}{16\lambda^4} \right), \quad (20)$$

$$m_x = n_1 + \frac{1}{2\mu^2}; \quad D_x = \frac{n_1 + n_2}{\mu^2} + \frac{5}{4\mu^4}. \quad (21)$$

Зная математическое ожидание m_x и дисперсию D_x распределений, а также параметр μ , получим параметры n_1 и n_2 распределений по следующим зависимостям:

$$n_1 = m_x - \frac{1}{2\mu^2}; \quad n_2 = \mu^2 D_x - m_x - \frac{3}{4\mu^2}. \quad (22)$$

Обработку эмпирического материала можно теперь осуществлять следующим образом: по выборке значений $K_{ч}$ по подразделениям в регионе по итогам травматизма за год находим оценки m_x и D_x (напомним, что в рассматриваемом случае $X=K_{ч}$). Далее, изменяя значения параметра μ распределения, находим n_1 и n_2 по зависимостям (22). По формуле (17), учитывая, что

$$P(a \leq X < b) = F(b) - F(a),$$

находим вероятность P_i пребывания случайной величины X на «i»-м интервале выборки. По полученным значениям подсчитываем критерий χ^2 Пирсона:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^e \frac{(m_i - nP_i)^2}{P_i n}, \quad (23)$$

где m_i – вероятность наблюдаемых $K_{ч}$ на «i»-м интервале; P_i – теоретическое значение вероятности пребывания X на этом интервале; n – объем выборки.

Таким образом, подбирается значение параметра μ распределения, соответствующее минимуму критерия Пирсона χ^2 .

Значение μ не может быть меньше некоторого минимального значения, определенного из условия $n_2=0$ (отрицательным n_2 не может быть в силу выражения 6). При этом

$$\mu_{min} = \left[\frac{m_x}{2D_x} \left(1 + \sqrt{1 + 3D_x / (m_x)^2} \right) \right]^{0,5}. \quad (24)$$

При минимальном значении μ_{min} ($n_2=0$) плотность распределения запишем в соответствии с формулой (11). При движении $\mu \rightarrow \infty$ имеем из (22):

$$n \rightarrow m_x; \quad n_2 \sim \mu^2 D_x \rightarrow \infty.$$

Таким образом, в соответствии с выражением (7) получим асимптоту «X»-распределения при больших значениях параметра

$$F(X) = 0,5 \left[1 - \Phi \left(\frac{m_x - X}{\sqrt{D_x}} \right) \right], \quad (25)$$

что представляет собой нормальное распределение.

Применим «X»-распределение для доказательства нормальности распределения параметра $K_{ч}$ (коэффициента частоты) травматизма.

В таблице 1 приведены фактические значения $K_{ч}$ по АПК Ленинградской области по 27 подразделениям (за 2010 и 2011 гг.) и по 28 подразделениям за 2012 г. (годы взяты для примера с учетом достоверности данных; можно было взять данные за любые другие годы, где имел место достоверный учет).

Обработка данных таблицы методом χ^2 показывает, что с ростом μ значения χ^2 уменьшаются и стремятся к значениям, приведенным в таблице. Последнее означает, что по фактическим данным $K_{ч}$ имеет нормальное распределение (поскольку $K_{ч}$ есть частота событий, умноженная на 1000, то это естественно).

Далее по таблицам распределения [7] находим, что гипотеза нормального распределения $K_{ч}$ не противоречит эксперименту с уровнем значимости по всем трем годам не ниже 50% (напомним, что общепринятый уровень значимости 5%).

Таблица 1

Сравнение фактической m_i и теоретической nP_i встречаемости по хозяйствам Ленинградской области (P_i подсчитано по нормальному закону; А – 2010 г.; Б – 2011 г.; В – 2012 г.)

	$K_{ч}$	[0; 5]	]5; 7]	]7; 9]	]9; 10]	]10; 13]	]13; 0[	m_x	D_x	χ^2
А	m	2,0	4,0	4,0	7,0	7,0	3,0	9,26	9,3	1,56
	27P	1,6	3,4	5,4	5,9	5,3	4,0	-	-	-
Б	$K_{ч}$	[0; 7]	]7; 9]	]9; 11]	]11; 13]	]13; ∞]	-	9,17	8,47	1,14
	m	5,0	9,0	9,0	5,0	2,0	-	-	-	-
	27P	4,9	6,1	7,1	5,3	3,5	-	-	-	-
В	$K_{ч}$	[0; 6]	]6; 8]	]8; 10]	]10; 12]	]12; 13]	13	8,95	10,45	2,05
	m	4,0	5,0	6,0	5,0	6,0	2,0	-	-	-
	28P	4,0	5,1	6,7	6,0	3,8	2,3	-	-	-

Проблеме посвящались и другие работы. Так в работе [5] близость значений $m_x=m_{K_{ч}}$ и $D_x=D_{K_{ч}}$, указанных в таблице, принималось как признак того, что $K_{ч}$, будучи округленным до целых значений, имеет распределение Пуассона (как число травм, приходящееся на 1000 работающих). По критерию χ^2 эта гипотеза не противоречит наблюдениям с высоким уровнем значимости. Последнее не противоречит

полученному результату в части нормального распределения $K_{\text{ч}}$, так как при больших значениях математических ожиданий распределение Пуассона асимптотически совпадает с нормальным распределением, для которого $m_{\text{х}}=D_{\text{х}}$. Заметим, что для других случаев такое совпадение уже не будет иметь место, так как при больших N дисперсия $D_{K_{\text{ч}}}$ будет заметно меньше $m_{K_{\text{ч}}}$.

Вышеизложенное позволяет при решении теоретических и практических проблем, связанных с распределением показателя частоты травматизма в АПК, пользоваться закономерностями нормального распределения.

Касательно путей снижения $K_{\text{ч}}$ отметим следующее. Названный показатель является обобщающим в части определения числа травмированных по различным причинам, приходящимся на 1000 человек. Являясь обобщенным выражением ситуации, по его значению невозможно определить источники травматизма, травмоопасные ситуации, виды работ, на которых произошли травмы, время суток и года, пол пострадавших и др. (если только не проводить специальные детальные исследования, как, например, это сделано в работе [8]). В связи с этим фактическими путями его снижения является комплекс трудовых мероприятий, реализованный ныне в стране в целом и на практике АПК. Укрупненно в числе этих мероприятий организационно-технические, нормативно-правовые, санитарно-гигиенические, инженерно-технические, медико-биологические, эргономические, технико-экономические и др. Каждый из названных блоков профилактических мероприятий при его реализации выполняет свою задачу и имеет свои пути профилактики, т.е. воздействия на ситуацию с целью профилактики травм, аварий, пожаров, чрезвычайных ситуаций. Именно благодаря этим мероприятиям сегодня имеем в отрасли положение с травматизмом, характеризующееся ситуацией, когда в отрасли АПК на производстве практически ежедневно травмируется около 10 человек, из них летально – 2-3 человека. В случае если бы названная система профилактики работала менее эффективно (или не работала вообще), положение дел с травматизмом было бы в 5-7 раз хуже. Однако мириться с тем, что имеет место сегодня, тоже нельзя. Существующая ныне профилактическая система сделала, что могла. Анализ ее перспектив показывает, что потенциальные возможности ее близки к исчерпанию. Это и фактическое положение дел с травмами в отрасли вынуждают искать резервы пополнения существующих методов и средств профилактики новыми методами и средствами и переходить на низкотравмоопасные и безопасные технологии производства и методы и средства их реализации, включая роботизацию и безлюдные технологии. В указанном направлении интенсивно работают отраслевые трудовые школы во главе с СПбГАУ и ВНИИ социального развития села ОрелГАУ. В этом направлении работы трудовой школы СПбГАУ базируется на обоснованной и разработанной концепции – системе управления охраной труда на основе обстоятельного анализа травматизма (количественные показатели, причины, обстоятельства, последствия, временные и половозрастные составляющие и др.), прогнозирования его развития (динамики по перечисленным факторам на краткосрочную и длительную перспективу) [9], обоснование на этой основе путей профилактики по составляющим каждого из названных выше профилактических направлений (блоков).

Библиографический список

1. Российская Федерация. Конституция (1993). Конституция Российской Федерации : офиц. текст. – М. : Маркетинг, 2001. – 39 с.
2. Трудовой кодекс Российской Федерации (с изменениями и дополнениями на 1.11.2010 г.). – М. : Эксмо, 2010. – 192 с.
3. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 295 с.
4. Шкрабак, В. С. Безопасность жизнедеятельности в сельскохозяйственном производстве / В. С. Шкрабак, А. В. Луковников, А. К. Тургиев. – М. : КолосС, 2004. – 512 с.
5. Шкрабак, В. В. Стратегия и тактика динамичного снижения и ликвидации производственного травматизма в АПК (теория и практика) : монография. – СПб. : СПбГАУ, 2007. – 580 с.
6. Шкрабак, Р. В. Теоретическое положение анализа тяжести производственного травматизма в АПК и пути ее снижения // Известия Международной академии аграрного образования. – 2012. – №16. – С. 72-77.
7. Большов, Л. Н. Таблицы математической статистики / Л. Н. Большов, Н. В. Смирнов. – М. : Наука, 1971. – 576 с.
8. Овчинникова, Е. И. Условия и охрана труда женщин в АПК и пути их улучшения : монография / Е. И. Овчинникова, Р. В. Шкрабак. – СПб. : СПбГАУ, 2012. – 298 с.
9. Шкрабак, В. С. Прогнозирование травматизма в АПК и путей его профилактики / В. С. Шкрабак, В. В. Шкрабак, Р. В. Шкрабак [и др.] – СПб. : СПбГАУ, 2002. – 112 с.