

3. Справочник по теплоснабжению сельского хозяйства / Л.С. Герасимович [и др.]. – Минск: Ураджай, 1993. – 368 с.
4. Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел; ред. В.И. Кушнырев. – М.: Энергия, 1975. – 478 с.
5. Зигель, Р. Теплообмен излучением / Р. Зигель, Дж. Хауэлл; пер. с англ. под ред. д-ра техн. наук Б.А. Хрусталева. – М.: Изд-во «Мир», 1975. – 936 с.

УДК 63: 331.45

А.И. Федорчук, В.Г. Андруш

(УО «БГАТУ»,

г. Минск, Республика Беларусь)

К ОЦЕНКЕ

ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ

ОТРАСЛИ

Введение

Сельскохозяйственные машины и агрегаты (вместе с обрабатываемой средой) представляют собой сложные динамические системы. Входные воздействия и выходные переменные являются, как правило, случайными процессами. В соответствии с рассматриваемой проблемой отнесем к ним показатели состояния безопасности труда. В настоящее время эта особенность систем управления (в том числе систем обеспечения безопасности труда) при проектировании сельскохозяйственной техники и разработке нормативов ее безопасной эксплуатации учитывается не в полной мере [1, 2]. Это, на наш взгляд, может являться одной из причин, объясняющей высокий уровень производственного травматизма и производственно-обусловленной заболеваемости работников АПК.

Объекты и методы исследований

Объектом исследований являются компоненты производственного травматизма операторов сельскохозяйственной техники, которые в совокупности с окружающей средой являются сложной динамической системой.

При исследовании состояния безопасности труда с оценкой ожидаемого числа травм на конкретном объекте использованы методы статистической динамики. Исходными данными являются состав работников и число травм, наблюдаемых на данном объекте в течение заданного периода.

Результаты исследований

Для характеристики состояния травматизма на производстве в настоящее время используются следующие методы: статистический, топографический, эргономический и экономический. Статистический метод, включающий групповой и топографический разделы, основан на анализе статистического материала по травматизму. С помощью этого

метода можно получить сравнительную динамику производственного травматизма за ряд лет по определенным показателям: коэффициентам частоты и тяжести травматизма ($K_{\text{ч}}$ и $K_{\text{т}}$), коэффициенту потерь рабочего времени ($K_{\text{н}}$), коэффициенту частоты травматизма со смертельным исходом ($K_{\text{ЧСМ}}$), коэффициенту летальности травматизма ($K_{\text{л}}$).

Для оценки объективности названных показателей исходим из того, что традиционный подход к решению проблемы повышения безопасности труда имеет следующие целевые постановки:

$$Y(K_{\text{ч}}, K_{\text{т}}, K_{\text{Т}}, K_{\text{ЧСМ}}, K_{\text{л}}, n_1) \rightarrow 0; \quad (1)$$

$$Y(K_{\text{ч}}, K_{\text{т}}, K_{\text{Т}}, K_{\text{ЧСМ}}, K_{\text{л}}, n_1) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где Y – уровень травматизма;

n_1 – количество пострадавших.

Первая постановка (1) имеет смысл полной ликвидации травматизма, вторая (2) – минимизации его уровня.

Современный мир отверг концепцию абсолютной безопасности и пришел к концепции приемлемого (допустимого) риска, суть которой – в стремлении к такой малой опасности, которую приемлет общество в данный период времени [3].

Анализ научно-технической, патентной, нормативно-методической литературы показывает, что в качестве методологической базы решения проблемы могут быть приняты методы статистической динамики, широко применяемые для решения научных и технических задач, но не нашедшие должного применения в трудовой науке [4, 5].

Один из путей улучшения условий и безопасности труда работников АПК – это замена инерционной системы ликвидации последствий травматизма и заболеваемости системой предупреждения риска производственного травматизма.

Однако для анализа динамических процессов в системе предупреждения риска следует решить несколько проблемных задач [3]: установить динамику эффективности различных направлений трудовой деятельности; разработать методику комплексной оценки безопасности, техники и технологии; разработать банк данных о влиянии различных трудовых мероприятий на травматизм и заболеваемость.

Поиски возможностей применения методов статистической динамики для оценки безопасности труда наталкиваются на сложности, связанные с особенностями временных рядов показателей уровня травматизма. По характеру изменения эти временные ряды можно отнести к классу стационарных случайных процессов ограниченной деятельности, содержащих сезонные, регулярные и непериодические составляющие колебания [4].

В общем виде временные ряды травматизма описываются выражением:

$$F(X, Z, \eta, t) = X(\psi, t) + Z(Z, t) + \eta,$$

где $X(\psi, t)$ – непериодические и регулярные колебательные компоненты;
 $Z(Z, t)$ – нестационарная часть временного ряда;
 η – случайная часть временного ряда;
 t – временные точки исходного ряда: $t \in |0, T|, |0, T|$ – интервал наблюдения.

Непериодические и регулярные колебательные компоненты могут быть представлены непериодической функцией, составляющие которой имеют некрратные друг другу и интервалу наблюдения периоды [6]:

$$X(\psi, t) = \sum_{i=1}^N A_i \psi_i(t + T_i),$$

где N – число компонент;
 A – коэффициент компоненты;
 T_i – период i -ой компоненты.

Нестационарная часть $Z(Z, t)$ характеризуется математическим ожиданием:

$$E\{Z\} = m(t);$$

$$E\{Z - EZ\}^2 = \sigma^2(t).$$

Случайная составляющая η имеет нулевое математическое ожидание

$$E\{\eta\} = 0$$

и быстро затухающую автокорреляционную функцию

$$E\{\eta_t, \eta_{t-\tau}\} \rightarrow 0 \text{ при } \tau > 0,$$

где τ – период накопления данных.

Частотная область анализа процесса в соответствии с теоремой Котельникова:

$$\omega \in \left(0, \frac{\pi}{\Delta t}\right).$$

Учитывая вышеизложенное, представляется более корректным прогнозировать не абсолютные показатели травматизма, а изменения вероятностей несчастных случаев и тяжести их последствий, то есть если A – событие, состоящее в том, что произошло травмирование, то вероятность этого события $p = P(A)$. Числовая определенность вероятности $P(A)$ дает возможность найти критерии уровня производственного травматизма.

В этой связи рассмотрим процедуру вычисления вероятности травмирования. Для расчетов принимаются исходные данные: n – среднесписочный состав работников того или иного производственного объекта, подлежащего учету; U – число травм, наблюдаемых на данном производственном объекте в течение года. Принимается теоретическая

предпосылка о том, что события $A_1, A_2, A_3, \dots, A_U$ (события, состоящие в том, что произошел 1, 2, 3, ..., U -й несчастный случай) являются независимыми и имеют равную вероятность p .

В соответствии с законом больших чисел, сформулированным Чебышевым, и теорией Бернулли [6]:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} P \left\{ \left| \frac{U}{n} - p \right| \leq \xi \right\} = 1.$$

Определение величины $P(A)$ производим введением случайной величины ξ :

$$\xi_i \begin{cases} = 0 \\ = 1 \end{cases}.$$

В соответствии со статистическими данными $\xi_i = 0$, если i -й работник в течение года не имел травм; $\xi_i = 1$, если i -й работник в течение этого времени был травмирован.

Общее число случаев травмирования ξ представляется суммой независимых, одинаково распределенных случайных величин:

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n.$$

Вероятность травмирования вычисляем по биномиальному закону [6, с. 582]:

$$P(\xi = k) = C_n^k p^k q^{n-k}; \quad (3)$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots, n).$$

Математическое ожидание и дисперсии сумм независимых случайных величин находятся следующим образом [6, с. 585, с. 586]:

$$M \xi_i = q \cdot 0 + p \cdot 1 = p;$$

$$M \xi = \sum_i M \xi_i = np; \quad (4)$$

$$D \xi_i = q(0 - p)^2 + (1 - p)^2 = \dots = pq;$$

$$D \xi = \sum_i D \xi_i = npq,$$

где $M \xi_i, M \xi$ – соответственно математическое ожидание вероятности травмирования отдельного работника и числа случаев травмирования на группу из n работающих;

$D \xi_i, D \xi$ – соответственно дисперсии этих случайных величин.

Эти данные используются для первого контроля согласия теоретической схемы с практикой. При этом исходят из неравенства Чебышева [6]:

$$P \{ |\xi - np| > k\sigma \} \leq \frac{1}{k^2}, \quad (5)$$

где $\sigma = \sqrt{D\xi} = \sqrt{npq}$;

k – выбранная константа.

Например, при $k = \sqrt{2}$ правая часть неравенства равна 0,5 и тогда неравенство (5) приобретает вид:

$$P\left\{|\xi - np| > \sqrt{2npq}\right\} \leq 1.$$

Пользуясь соотношением

$$(\Delta\xi)^2 = 2npq,$$

где $\Delta\xi = \sqrt{2npq}$, можно вычислить значения n , отвечающие $\Delta\xi = 1, 2, 3, \dots, n$.

Приняв для определенности, например, что

$$p = 2 \cdot 10^{-4}, \quad q = 1 - p = 1,$$

находим:

$$n = \frac{(\Delta\xi)^2}{4 \cdot 10^{-4}} = \frac{(\Delta\xi)^2}{4} 10^4.$$

С использованием той же схемы Бернулли дается расчет ожидаемого числа травм на рассматриваемом объекте и вероятности фактически наблюдаемого числа травм. Для получения этих данных используются основная формула распределения Бернулли (3) и формулы математического ожидания по схеме Бернулли (4), в которых величина p определяется статистически по всей совокупности однотипных объектов. Прямой подсчет производится по рекуррентному соотношению:

$$P\{\xi = k + 1\} = \frac{n - k}{k + 1} \cdot \frac{p}{q} \cdot P\{\xi = k\};$$

$$P\{\xi = 0\} = q^n,$$

где $k = 0, 1, 2, \dots, n - 1$.

Последовательно вычисляемые вероятности $P\{\xi = k\}$ суммируются:

$$F(x) = \sum_{k=0}^x P\{\xi = k\}.$$

Таким образом, находятся все значения ступенчатой функции распределения случайной величины.

Полученные значения p могут быть сведены в таблицы с двумя входами (k, P) с шагом изменения p и n , допускающим интерполяцию промежуточных значений с достаточной точностью.

Если полученное значение выходит за пределы 90 % ожидания возможных исходов, этот факт заслуживает внимания как событие, вероятность которого не превышает 0,05, и необходимо выявлять эти специфические факторы, положительно или отрицательно влияющие на уровень травматизма.

Заключение

1. Известные методы оценки трудоохранной деятельности, прогнозирования травматизма на производстве и средства его предупреждения разрабатываются параллельно и взаимно между собой не увязаны.

2. Указанные методы прогнозирования производственного травматизма нацелены на предсказание его абсолютных показателей, что невозможно в силу влияния на травматизм большого числа случайных факторов различной природы и структуры. Более корректно и достаточно для управления безопасностью труда оценивать относительное изменение уровня вероятности травмирования на производстве вследствие применения новых или совершенствования существующих функций и средств охраны труда.

3. Решением научно-технической проблемы повышения безопасности труда операторов сельскохозяйственной техники является разработка единой методологической концепции оценки состояния и прогнозирования безопасности труда на основе вероятностных методов для определения ожидаемого количества несчастных случаев и тяжести их последствий на рассматриваемом сельскохозяйственном объекте.

26.03.12

Литература

1. Система управления охраной труда. Общие требования: СТБ 18001–2005. – Введ. 01.11.2005. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2005. – 24 с.
2. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки: ГОСТ 12.2.002–91 ССБТ. – Введ. 01.07.1992. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 61 с.
3. Асаенок, А.И. Профессиональные риски: методика анализа и управления / А.И. Асаенок, Е.Е. Кученева, А.Ф. Минаковский. – Минск: Бестпринт, 2009. – 180 с.
4. Юсупов, Р.Х. Производственная среда предприятия АПК как информационная динамическая система при анализе и прогнозировании травматизма и профессионально-обусловленной заболеваемости / Р.Х. Юсупов, А.В. Зайнешев, Ю.Г. Горшков. – Москва: Изд-во РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2009. – 221 с.
5. Федорчук, А.И. Теоретические основы охраны труда в сельском хозяйстве: монография / А.И. Федорчук. – Минск, [б. и.], 2005. – 269 с.
6. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1981. – 720 с.