

## К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

*Федорчук А.И., к.т.н., доцент;*

*Андруш В.Г., к.т.н. (БГАТУ)*

### *Введение*

При разработке методов оценки и прогноза состояние безопасности труда общие методологические и технические решения, используемые на промышленных объектах, не дают такого же социально-экономического эффекта при использовании их в сельскохозяйственном производстве. Это обусловлено, главным образом, спецификой условий функционирования технологических систем АПК.

Сельскохозяйственные машины и агрегаты (вместе с обрабатываемой средой) представляют собой сложные динамические системы. Входные воздействия и выходные переменные являются, как правило случайными процессами. К ним, в соответствии с рассматриваемой проблемой отнесем показатели состояния безопасности труда. В настоящее время это 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. Это, на наш взгляд, может являться одной из причин, объясняющей высокий уровень производственного травматизма и производственно-обусловленной заболеваемости работников АПК.

### *Основная часть*

Основным исходным требованиям в системе управления (контроля, регулирования) технологическими, энергетическими и трудовыми процессами является поддержание параметра управления  $Y_j(t)$  в допустимых для конкретных условий функционирования границах. Эти границы определяются функциональными допусками, определяемые применяемыми методами и средствами управления параметром  $Y_j(t)$ . При этом указанные параметры процесса должны являться критерием оптимальности применяемых методов и средств. В этой связи рассмотрим пригодность применяемых в современной науке и практике показателей и оценок для решения задачи обеспечения безопасности технологических систем АПК по критериям их информативности (объективности), прогнозируемости и управляемости.

Для характеристики состояния травматизма на производстве в настоящее время используются следующие методы: статистический, монографический, эргономический и экономический. Статистический метод, включающий групповой и топографический разделы, основан на анализе статистического материала по травматизму. Исходные данные для анализа содержатся в актах формы Н-1, в отчетах предприятий по формам № 7-т и 1-т. 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 ( $K_{\text{п}}$ ), 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:

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

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

где  $Y$  – уровень травматизма;  $n_1$  – количество пострадавших.

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

Известно, что традиционная техника безопасности базируется на категорическом императиве: обеспечить безопасность, не допустить никаких аварий и несчастных случаев. Как показывает практика, такая концепция не адекватна законам техносферы. Требование абсолютной безопасности, подкупающее своей гуманностью, может обернуться трагедией для людей, потому что обеспечить нулевой риск в действующих системах невозможно.

Современный мир отверг концепцию абсолютной безопасности и пришел к концепции приемлемого (допустимого) риска, суть которой – стремление к такой малой опасности, которую приемлет общество в данный период времени. Приемлемый риск сочетает в себе технические, экономические, социальные и политические аспекты и представляет собой некоторый компромисс между уровнем безопасности и возможностями ее достижения. Прежде всего, нужно иметь в виду, что экономические возможности повышения безопасности технических систем не безграничны. Так, затрачивая чрезмерные средства на повышения безопасности, можно нанести ущерб социальной сфере, например, ухудшить медицинскую помощь.

По этим и другим причинам 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 применять для нахождения критериев уровня производственного травматизма аппарат классической теории.

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 П.Л.Чебышевым:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} P \left\{ \left| \frac{U}{n} - P \right| \leq \xi \right\} = 1. \quad (3)$$

Определение величины  $P(A)$  производится по схеме Бернулли, введением случайной величины  $\xi$ :

$$\xi_i \begin{cases} = 0 \\ = 1 \end{cases}. \quad (4)$$

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  $\xi$  представляется суммой независимых, одинаково распределенных случайных величин:

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n \quad (5)$$

В соответствии с общей теорией:

$$P(\xi = k) = C_n^k P^k q^{n-k} \quad (6)$$

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

Математическое ожидание и дисперсии сумм независимых случайных величин находятся следующим образом:

$$M \xi_i = q0 + P1 = P; \quad (7)$$

$$M \xi = \sum_i M \xi_i = np; \quad (8)$$

$$D \xi_i = q(0 - P)^2 + (1 - P)^2 = \dots = pq; \quad (9)$$

$$D \xi = \sum_i D \xi_i = npq, \quad (10)$$

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

$$P\{|\xi - np| > k\sigma\} \leq \frac{1}{k^2}, \quad (11)$$

где  $\sigma = \sqrt{D \xi} = \sqrt{npq}$ ;  $k$  - выбранная константа.

Например, при  $k = \sqrt{2}$  правая часть неравенства равна 0,5 и неравенство (11) приобретает вид

$$P\{|\xi - np| > \sqrt{2npq}\} \leq 1. \quad (12)$$

Пользуясь соотношением

$$(\Delta \xi)^2 = 2npq, \quad (13)$$

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

Приняв для определенности, например, что  $P = 2 \cdot 10^{-4}$ ,  $q = 1 - P = 1$ , находим:

$$n = \frac{(\Delta \xi)^2}{4 \cdot 10^{-4}} = \frac{(\Delta \xi)^2}{4} 10^4. \quad (14)$$

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 (6) и формулы математического ожидания по схеме Бернулли (8), в которых величина  $P$  определяется статистически по всей совокупности однотипных объектов. Прямой подсчет производится по рекуррентному соотношению:

$$P\{\xi = k + 1\} = \frac{n - k}{k + 1} \cdot \frac{p}{q} \{ \xi = k \}, \quad (15)$$

$$P\{\xi = 0\} = qn, \quad (16)$$

где  $k = 0, 1, 2, \dots, n - 1$ .

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

$$F(x) = \sum_{k=0}^x P\{\xi = k\}. \quad (17)$$

Таким образом, находятся все значения функции распределения случайной величины.

### Заключение

Известные методы оценки трудовой деятельности, прогнозирование травматизма на производстве и средства его предупреждения разрабатываются параллельно

и взаимно между собой не увязаны. Становится очевидной необходимость решения научно-технической проблемы повышения безопасности труда операторов сельскохозяйственной техники, состоящей в разработке 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.

#### *Литература*

1. СТБ 18001-2005 Системы управления охраной труда. Общие требования.
2. Асаенок А.И. Профессиональные риски: методика анализа и управления / А.И. Асаенок, Е.Е. Кученева, А.Ф. Минаковский. – Минск: Бестпринт, 2009.
3. 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. Зайншев, Ю.Г. Горшков. Москва: Изд-во РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2009.
4. Федорчук, А.И. Теоретические основы охраны труда в сельском хозяйстве / А.И. Федорчук // Монография. – Минск: 2004.

УДК 681.51

### **СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ**

*Кулаков Г.Т., д.т.н., проф., Кулаков А.Т., к.т.н., доц.  
Белорусский национальный технический университет  
Ковалев В.А., к.т.н., доц. (БГАТУ)*

Большинство технологических процессов, в том числе и в АПК, имеют запаздывание по каналу регулирующего воздействия, которым нельзя пренебречь, поскольку их влияние на динамику процесса весьма велико. Так, например, величина максимальной динамической ошибки регулирования системы при отработке крайнего внешнего возмущения, приложенного к выходу объекта регулирования, в первую очередь определяется величиной запаздывания по каналу регулирующего воздействия.

Для автоматизации таких объектов широкое распространение получили двухконтурные системы автоматического регулирования, расчет параметров динамической настройки которых осуществляется по известным методам [1]. Эти методы основаны на экспериментальных переходных характеристиках объектов регулирования с запаздыванием по каналу регулирующего воздействия, передаточные функции которых аппроксимируются, например, в виде инерционного звена второго порядка с запаздыванием [2]:

$$W_{об}(p) = \frac{K_o e^{-\tau_y p}}{(T_1 p + 1)(\sigma p + 1)}, \quad (1)$$

где  $K_o$  - коэффициент передачи объекта;  $T_1, \sigma$  - соответственно большая и меньшая постоянные времени передаточной функции;  $\tau_y$  - время условного запаздывания объекта по каналу регулирующего воздействия.