

УДК 614.8.086:331.453:346.7:66

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РИСКОВ НАРУШЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ ХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ*д-р мед. наук, проф. И.С. АСАЕНОК**(Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск);**Е.Е. КУЧЕНЕВА**(Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, Гомель)*

Представлена методология оценки рисков нарушения профессионального здоровья работников химического предприятия по текущим параметрам рискообразующих факторов производственной среды с использованием статистически обоснованной информационной технологии, включающей поэтапное использование методов факторного, кластерного и дискриминантного анализа для обучающих выборок. Предложен подход к прогнозированию уровней потерь профессионального здоровья работающих на основе проведенного корреляционного анализа связей между концентрациями конкретных химических веществ в воздухе рабочей зоны и уровнями производственно обусловленной заболеваемости, что позволило своевременно выявлять и анализировать данные показатели нарушения здоровья с целью своевременного принятия эффективных мер по их минимизации.

Введение. Здоровье человека является фактором, активно влияющим на динамику социальных процессов, состояние трудовых ресурсов, перспективу научно-технического прогресса и благополучие нации. Поэтому в настоящее время одним из важнейших аспектов государственной политики Республики Беларусь является комплексное решение проблемы сохранения здоровья человека, продления его творческого, активного и экономически эффективного долголетия. При этом особенно важным является охрана здоровья работающих, занятых во вредных и опасных условиях труда. Анализ показывает, что на протяжении последних лет доля таких работников в республике имеет тенденцию к некоторому снижению, однако на ряде предприятий, в том числе и в химической отрасли промышленности, данная проблема решается неудовлетворительно. По данным органов Госсаннадзора Беларуси, от 45,0 до 52,6 % рабочих мест не соответствуют санитарным нормам по шуму, от 18,6 до 33,0 % – по запыленности воздуха, более 15 % рабочих мест характеризуется загрязнением воздуха рабочей зоны вредными химическими веществами, концентрации которых превышают предельно допустимые [1 – 3, 5].

Неблагоприятные условия труда являются одним из основных факторов риска нарушений здоровья работающих, которые проявляются ростом травматизма, профессиональных заболеваний, а также заболеваний с временной утратой трудоспособности.

Проведенный анализ показал, что 44,6 % заболеваний возникает в связи с воздействием промышленных аэрозолей, 43,1 % – физических факторов, 6,2 % – химических факторов [2, 4, 5]. При этом следует отметить, что статистика не учитывает растянутые во времени причинно-следственные связи влияния вредных факторов условий труда на нарушение здоровья трудоспособного населения:

- производственно обусловленную заболеваемость;
- снижение иммунитета у работающих;
- ускоренное старение населения;
- нарушение репродуктивных функций;
- другие показатели влияния воздействия рискогенной среды [2, 6].

Проводимые многочисленные исследования показывают также, что проблема охраны здоровья включает тесную диалектическую взаимосвязь возникновения, развития комплекса рискогенных ситуаций: техногенных, природных, социальных, экономических. Учитывая многофакторность рисков, проблема управления ими должна решаться на основании прогнозирования степени нарушения профессионального здоровья работающих.

Основная часть. Методика прогнозирования профессионального риска разрабатывалась на основе полученных данных корреляционной зависимости между концентрациями химических веществ в изученных цехах Гомельского химического завода (ГХЗ) и производственно обусловленной заболеваемостью. При исследовании использовались показатели концентрации химических веществ, а также данные производственно обусловленной заболеваемости в изучаемых цехах ГХЗ. Статистическая обработка материала проводилась с использованием пакета прикладной программы «Statistica 6,0». Проведенный анализ позволил выявить существенную связь между выделенной группой заболеваний и концентрациями химических веществ в воздухе рабочей зоны. На рисунке 1 представлена таблица корреляционного анализа, подтверждающая функциональную связь между концентрациями химических веществ однонаправ-

ленного действия, ангидрида фосфорного, аммофосом и производственно обусловленной заболеваемостью (ПОЗ) в цехе гранулированного аммофоса (ЦГА) Гомельского химического завода.

Variable	ДН_НЕТРУ	ОДН_Д_Х1	КИСЛ_СЕР	АНГ_ФОСФ	АММОФОС
ДН_НЕТРУ	1,0000	*,6710	,0197	-,1276	,6174
	p= ---	*p=,034	p=,957	p=,725	p=,057
ОДН_Д_Х1	*,6710	1,0000	,3742	-,0314	,3758
	*p=,034	p= ---	p=,287	p=,931	p=,284
КИСЛ_СЕР	,0197	,3742	1,0000	-,6000	,6055
	p=,957	p=,287	p= ---	p=,067	p=,064
АНГ_ФОСФ	-,1276	-,0314	-,6000	1,0000	*-,7512
	p=,725	p=,931	p=,067	p= ---	*p=,012
АММОФОС	*,6174	,3758	,6055	*-,7512	1,0000
	*p=,057	p=,284	p=,064	*p=,012	p= ---

Рис. 1. Корреляционный анализ зависимости ПОЗ от концентрации химических веществ в ЦГА

Примечание. * – значимые коэффициенты корреляции.

Как видно из рисунка, в ЦГА наблюдается тесная связь ПОЗ с веществами однонаправленного действия: водород фтористый + пыль туков + аммиак (коэффициент корреляции r равен 0,67 при уровне значимости $p < 0,034$), и пылью аммофоса ($r = 0,62$, $p < 0,057$).

Таким образом, приведенные данные подтверждают существование прямой взаимосвязи между концентрацией химических веществ в воздухе рабочей зоны и частотой заболеваний работников данного предприятия. Выявленные зависимости показателей производственно обусловленной заболеваемости от концентрации конкретных химических веществ в воздухе рабочей зоны использованы нами в исследовании для прогноза нарушения профессионального здоровья и своевременной разработки мер по снижению агрессивности факторов риска.

Как показывает анализ, для решения поставленной задачи можно эффективно использовать системный анализ взаимосвязей в многомерной совокупности, осуществляющийся на основе множественной классификации. Методы многомерной классификации включают разделение изучаемых совокупностей объектов на группы, обладающие определенными свойствами, стохастическими связями показателей, характеризующих изучаемый объект. Рассмотрим схему, содержащую следующие компоненты:

1) *построение классификационных моделей*, предназначенных для выделения и в последующем различия типологических состояний (классов профессионального здоровья), формирующихся в процессе обучения;

2) *формирование формализованных правил*, позволяющих по величине критерия нормирования оценить принадлежность текущего состояния объекта к одному из выделенных на первом этапе классов.

В математической формулировке на первом этапе решается задача кластерного анализа. Сравнительный анализ наиболее приемлемых методов показал, что целесообразно использовать методы иерархической агломеративной классификации, позволяющей выделить «естественные кластеры», объединенные определенными корреляционными взаимоотношениями. Главная цель метода – получить в пространстве интегральных показателей непересекающиеся или слабо пересекающиеся группы (кластеры), характеристики которых отражают моделируемые классы профессионального здоровья. Предлагаемая методология позволяет путем построения комбинационных статистических группировок показателей концентрации химических веществ в воздухе рабочей зоны в типологические классы, соответствующие определенному уровню здоровья работающего (уровень производственно обусловленной заболеваемости). В обучающей выборке выделены 5 типологических классов нарушения профессионального здоровья: низкий, допустимый, существенный, высокий и катастрофический. Каждый из классов характеризуется преобладающей структурой корреляционных взаимоотношений интегральных комплексов (корреляционным портретом) и имеет матрицу сходства размерностью $N \times N$ (где N – число объектов).

На втором этапе предлагается использовать методы дискриминантного анализа, позволяющие построить линейные дискриминантные функции, наилучшим образом разделять все выделенные кластеры. Так как дискриминантные функции представляют собой линейную комбинацию первичных показателей, они предлагаются в качестве численной меры критерия или вида профессионального здоровья. В общем виде задача различия (дискриминации) формулируется следующим образом. Пусть результат наблюдений объектов представляется в форме некоторого случайного вектора $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$. Требуется устано-

вить правило, согласно которому по наблюдаемому значению вектора x объект можно отнести к одной из возможных совокупностей $\Omega_i, i = \overline{1, k}$. Для построения правила дискриминации все выборочное пространство разбивается на области $R_i, i = \overline{1, k}$ так, что при попадании x в R_i объект относится к совокупности Ω_i .

Правило дискриминации выбирается на основе априорной информации о совокупностях извлечения объекта из Ω_i . Априорная информация может быть представлена в виде выборов из этих совокупностей.

Пусть $x_1^{(i)}, x_2^{(i)} \dots x_{ki}^{(i)}$ – выборка из совокупности Ω_i . Причем каждый объект выборки j представлен n -мерным вектором. Задача значительно упрощается, если можно предположить, что классы (среди которых проводится дискриминация) имеют нормальное распределение с одной и той же ковариационной матрицей. Технология оценки принадлежности нового наблюдения к одному из двух обучающих классов X и Y по обучающим выборкам, взятым из этих классов, заключается в построении дискриминантных функций – гиперплоскостей, наилучшим образом разделяющих совокупности обучающих выборок. Для этого строят матрицы X и Y объемом n_1 и n_2 :

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1k} \\ x_{21} & \dots & x_{2k} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & \dots & x_{nk} \end{pmatrix}, \quad Y = \begin{pmatrix} y_{11} & \dots & y_{1k} \\ y_{21} & \dots & y_{2k} \\ \dots & \dots & \dots \\ y_{n1} & \dots & y_{nk} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

1. Определяем вектора средних X и Y :

$$\bar{X} = \begin{pmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \dots \\ \bar{x}_{nk} \end{pmatrix}; \quad \bar{Y} = \begin{pmatrix} \bar{y}_1 \\ \bar{y}_2 \\ \dots \\ \bar{y}_{nk} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

2. Определяем оценки ковариационных матриц:

$$S_x = S_{ki \ x} \text{ и } S_y = S_{ki \ y}. \quad (3)$$

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n_1} \sum x_{ij}; \quad (4)$$

$$S_{kj}(x) = \frac{1}{n_1} \sum (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k) = \overline{x_j \cdot x_k} - \bar{x}_j \cdot \bar{x}_k. \quad (5)$$

3. Рассчитываем несмещенную оценку суммарной ковариационной матрицы:

$$\hat{S} = \frac{1}{n_1 + n_2 - 2} \cdot (n_1 \cdot S_x + n_2 \cdot S_y), \quad (6)$$

где n_1, n_2 – объемы обучающих выборок в классах.

4. Найдем матрицу \hat{S}^{-1} , обратную к ковариационной матрице \hat{S} .

5. Вычислим оценки векторов значений дискриминантной функции, разделяющей классы

$$a = \hat{S}^{-1} \cdot (\bar{x} - \bar{y}). \quad (7)$$

6. Рассчитаем оценки векторов значений дискриминантной функции для матриц исходных данных:

$$\hat{U}_x = X \cdot a, \quad \hat{V}_y = Y \cdot a. \quad (8)$$

7. Вычисляем среднее значение оценок дискриминантных функций:

$$\bar{U}_x = \frac{1}{n_1} \sum_1^{n_1} \hat{U}_{xi}, \quad \bar{V}_y = \frac{1}{n_2} \sum_1^{n_2} \hat{V}_{yi}. \quad (9)$$

8. Оцениваем константу $\hat{C} = \frac{1}{2} \cdot (\bar{U}_x + \bar{V}_y)$ – границу различаемых классов.

9. Дискриминантную функцию для тестируемого наблюдения Z , подлежащего дискриминации, получаем из уравнения:

$$\hat{U}_v = z_{v1} \cdot a_1 + z_{v2} \cdot a_2 + \dots + z_{vk} \cdot a_k. \quad (10)$$

Если $\hat{U}_v \geq \hat{C}$, то наблюдение относится к совокупности X , если $\hat{U}_v < \hat{C}$ – к совокупности Y .

Таким образом, преимущество предлагаемого метода является прикладная полезность построенного статистического классификатора, позволяющая качественно и количественно оценивать уровни воздействия рискообразующих факторов, в частности химических веществ, на профессиональное здоровье работников, оперативно осуществлять конкретные целенаправленные действия по его сохранению и поддержанию.

Дискриминантные функции для подмножеств в цехе гранулированного аммофоса ГХЗ имеют вид:

$$\begin{aligned} f_1 &= -6,04 \cdot X_1 + 0,223 \cdot X_2; \\ f_2 &= -7,128 \cdot X_1 + 4,298 \cdot X_2; \\ f_3 &= -4,758 \cdot X_1 - 1,3 \cdot X_2; \\ f_4 &= -2,821 \cdot X_1 - 0,83 \cdot X_2. \end{aligned} \quad (11)$$

Для того чтобы тестируемый объект отнести к одному из выделенных по обучающей выборке классов, измеряют параметры концентраций химических веществ X_1, X_2 в тестируемый момент времени и рассчитывают дискриминантные функции (f_1, f_2, f_3, f_4). По максимальному значению классификационной функции определяют принадлежность объекта к классу. Например, если наибольшим по модулю является значение f_2 , то это свидетельствует о допустимом уровне риска потерь профессионального здоровья в цехе. Дискриминантный анализ позволил рассчитать также численные значения границ классов, поэтому прогнозирование нарушения профессионального здоровья работников можно также проводить с использованием шкалы значений этих границ Константы дискриминации (границы классов) для ЦГА: $C_{1,2} = -5,9$; $C_{2,3} = -6,48$; $C_{3,4} = -15,705$; $C_{4,5} = -22,77$. В этой связи разработана структурно-функциональная схема алгоритма управления рисками нарушения профессионального здоровья на предприятиях химической промышленности (рис. 2). Конечная цель ее этапов заключается в определении объема и направленности тех мероприятий, которые необходимы для устранения или минимизации риска, в зависимости от величины степени безопасности тестируемого объекта, определенной по первичным показателям производственной среды.

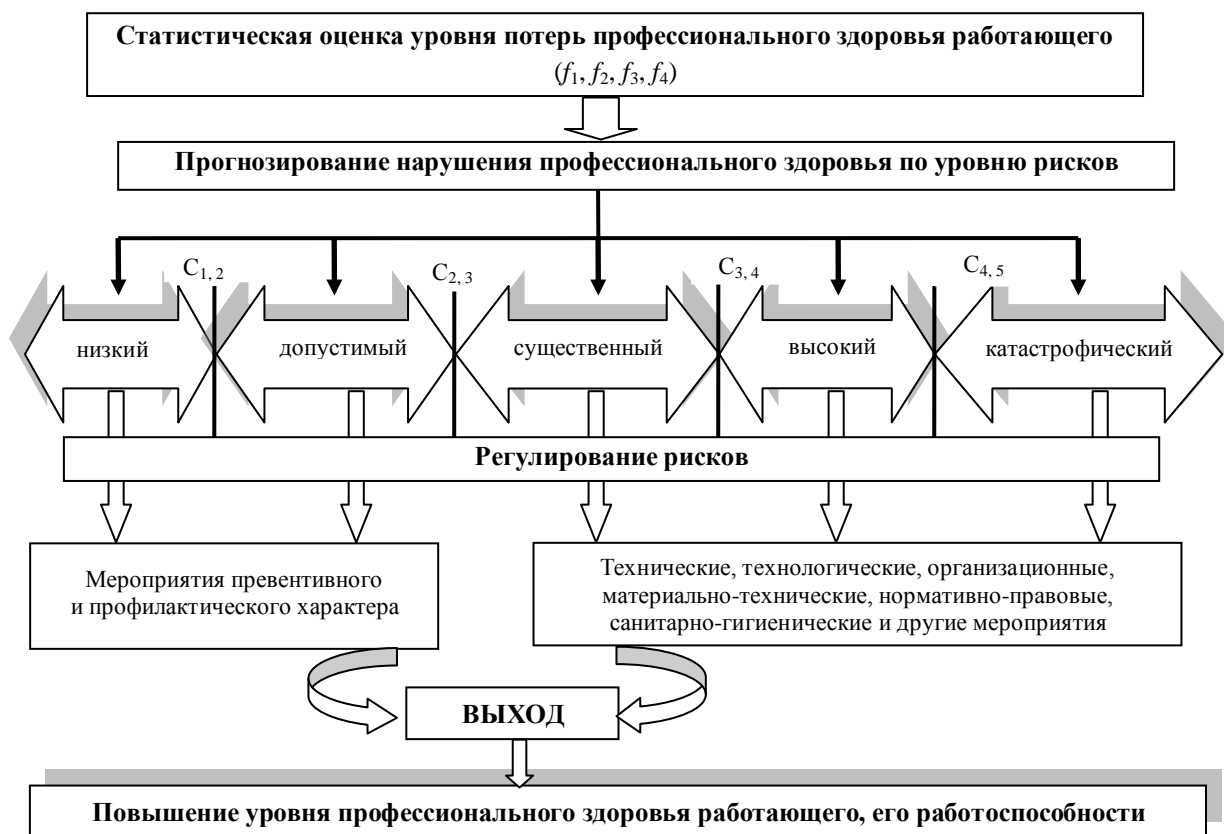


Рис. 2. Структурно-функциональная схема управления профессиональными рисками

Регулирование рисков состоит из двух блоков (см. рис. 2). В первый блок входят мероприятия превентивного и профилактического характера и направлены на поддержание и сохранение профессионального здоровья работающих. Второй блок состоит из технических, организационных, санитарно-гигиенических и других мероприятий, направленных на минимизацию уровня риска нарушения здоровья, который находится в существенном, высоком или катастрофическом типологическом классе.

Заключение. В результате исследования выявлена высокая степень зависимости между показателями производственно обусловленной заболеваемостью работающих и конкретными химическими факторами риска. Так, в цехе гранулированного аммофоса Гомельского химического завода значимая связь наблюдается между производственно обусловленной заболеваемостью и веществами однонаправленного действия (водород фтористый + пыль туков + аммиак ($r = 0,67$, $p < 0,034$)) и пылью аммофоса ($r = 0,62$, $p < 0,057$). Показано, что технология поэтапного использования факторного, кластерного и дискриминантного анализа может быть эффективно использована для оценки уровня профессионального здоровья работников и прогнозирования его нарушения по показателям производственной среды на предприятиях химической промышленности, так как позволяет получить простые решающие правила (критерии) для последующего использования в мониторинге безопасности труда. Предложен подход к прогнозированию уровней потерь профессионального здоровья работающих, основанный на корреляционном анализе связей между концентрациями конкретных химических веществ в воздухе рабочей зоны и уровнями ПОЗ, что позволяет своевременно выявлять и анализировать показатели нарушения здоровья с целью принятия эффективных мер по их минимизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асаенок, И.С. Среда обитания: риск, здоровье, экономика: моногр. / И.С. Асаенок. – Минск: Бестпринт, 2006. – 221 с.
2. Асаенок, И.С. Профессиональный риск: методология анализа и управление / И.С. Асаенок, Е.Е. Кученева, А.Ф. Минаковский. – Минск: Белпринт, 2009. – 187 с.
3. Асаенок, И.С. Влияние условий труда на заболеваемость работников химического предприятия / И.С. Асаенок, Е.Е. Кученева // Здоровье и окружающая среда: сб. науч. тр. / Респ. науч.-практ. центр гигиены; гл. ред. В.П. Филонов. – Минск, 2008. – Вып. 11. – С. 300 – 306.
4. Асаенок, И.С. Вероятностный подход к оценке риска нарушения профессионального здоровья у работников химических предприятий / И.С. Асаенок, Т.М. Моисеева, Е.Е. Кученева // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2009. – № 2(3). – С. 11 – 19.
5. Здоровье и окружающая среда: сб. науч. тр. / Респ. науч.-практ. центр гигиены; гл. ред. С.М. Соколов. – Минск, 2007. – Вып. 9. – 1160 с.
6. Кученева, Е.Е. Математическая модель для прогнозирования здоровья работников в условиях воздействия рисковенных ситуаций / Е.Е. Кученева // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2008. – № 2(3). – С. 82 – 89.

Поступила 03.09.09

FORECASTING OF RISK OF INFRINGEMENT OF PROFESSIONAL HEALTH WORKING THE CHEMICAL ENTERPRISE IN SYSTEM OF ITS MANAGEMENT

I. ASAENOK, E. KUCHENEVA

In article the methodology of forecasting of risk of infringement of professional health of workers of the chemical enterprise for current parametres risk factors of the industrial environment with use of statistically well-founded information technology including stage-by-stage use of methods factorial, class and the discriminant analysis for training is offered.