

УДК 331.443:346.7:66

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ РИСКОВЫХ СИТУАЦИЙ

Е.Е. КУЧЕНЕВА, аспирант

*УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»,
г. Минск, Беларусь*

Построена математическая линейная модель зависимости количества заболеваемости с временной утратой трудоспособности от вредных химических веществ для прогнозирования уровня здоровья работников в условиях воздействия рискованных ситуаций с целью выявления основной тенденции его развития. Данный метод позволит своевременно внедрять мероприятия, способствующие повышению безопасности труда работающих на Гомельском химическом заводе.

Ключевые слова: безопасность труда, математическая модель, прогнозирование уровня заболеваемости работающих, рискованные ситуации.

Введение. Согласно данным Международной организации труда по причинам, связанным с профессиональной деятельностью, ежегодно в мире погибает около 2 млн человек, более 160 миллионов получают заболевания, связанные с трудовой деятельностью. В каждом третьем случае болезнь приводит к потере трудоспособности на 4 и более рабочих дней. Экономический ущерб от аварийности, травматизма, профессиональных заболеваний, заболеваний с временной утратой трудоспособности на производстве достигает 7–10% валового национального продукта промышленно развитых государств, а загрязнение производственной среды, несовершенная техника безопасности труда являются причиной преждевременной смерти до 20–30% мужчин и 10–20% женщин от всех работающих [3, 4]. Что касается промышленного сектора, то особое негативное воздействие на людей и природу оказывают химическая и смежные с ней отрасли промышленности, в том числе и в Республике Беларусь. Потенциально вредные для здоровья человека химические, физические, социально-психологические факторы производственной среды являются, в той или иной степени, источниками реального риска [2, 6]. В связи с этим повышение безопасности труда работающих в условиях воздействия рискованных ситуаций становится актуальным. Это возможно при правильном и своевременном планировании мер и мероприятий по улучшению

условий труда работников на основании прогнозирования уровня заболеваемости работников с временной утратой трудоспособности на химически-опасных объектах.

Основная часть. Для решения анализа, контроля и управления безопасностью труда работников Гомельского химического завода необходимо выявить взаимосвязи между параметрами, определяющими уровень заболеваемости с временной утратой трудоспособности с вредными химическими факторами, и представить их в количественной форме – в виде математических моделей. Однако при получении формализованного описания данного влияния наталкиваются на ряд трудностей, со специфическими особенностями, к числу которых относятся:

- наличие ошибок при регистрации параметров, что обусловлено неточностями химических анализов и погрешностями используемой измерительной техники;
- большое количество химических факторов, определяющих изменение показателей заболеваемости, динамический характер изменений;
- значительные запаздывания (инерционность) проявления негативного воздействия химических факторов;
- вычислительные трудности при разработке алгоритмов расчета в тех случаях, когда возможно описание процессов с помощью теоретических закономерностей.

Указанные сложности обуславливают широкое использование в настоящее время в химической технологии эмпирических математических моделей, простых по форме, но лишь формально описывающих зависимость выходных параметров моделируемого процесса от входных (параметры входных потоков, конструкция оборудования и т.д.). Кроме того, в связи с широким развитием автоматизированных систем расчета и проектирования, задача описания (аппроксимации) экспериментальных данных математическими уравнениями становится особенно актуальной, так как использование компактных по форме уравнений приводит к существенной экономии времени счета и требуемого объема памяти (внешней и оперативной) вычислительных машин. Разумеется, для использования пригодны лишь те аппроксимирующие уравнения, которые достаточно точно соответствуют (адекватны) исходной экспериментальной выборке. Для решения проблем предложен один из основных способов получения линейных эмпирических уравнений – метод

наименьших квадратов (МНК), являющийся составной частью регрессионного анализа [1, 5].

Имеется некоторая выборка экспериментальных данных объемом m опытов, содержащая независимые переменные (вредные химические вещества) $x_1, x_2, \dots, x_k$ и зависимую переменную (отклик) y . Общий тип линейной модели записывается в виде

$$y = a_0 + a_1 \bullet z_1 + a_2 \bullet z_2 + \dots + a_k \bullet z_k \quad (1)$$

где каждая из переменных z_j , называемая в дальнейшем фактором, представляет собой функциональную зависимость произвольного вида от независимых переменных

$$z_j = z_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2)$$

Параметр k определяет количество факторов в эмпирическом уравнении.

Задача определения коэффициентов уравнения регрессии по МНК сводится практически к определению минимума функции многих переменных: требуется выбрать $a_0, a_1, \dots, a_k$ так, чтобы сумма квадратов отклонений, рассчитанных по уравнению (1), и экспериментальных значений функции отклика была минимальной

$$\Phi = \sum_{i=1}^m [y_i - f(z, a_0, a_1, \dots, a_k)]^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

Если функция (3) дифференцируема, то необходимым условием минимума $\Phi(a_0, a_1, \dots, a_k)$ является выполнение равенств:

$$\frac{d\Phi}{da_0} = 0; \frac{d\Phi}{da_1} = 0; \frac{d\Phi}{da_k} = 0 \quad (4)$$

При линейном характере зависимости система уравнений (4) принимает вид

$$\frac{d\Phi}{da_0} = \frac{d \left\{ \sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 z_{1i} + \dots + a_k z_{ki})]^2 \right\}}{da_0} = 2 \sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 z_{1i} + \dots + a_k z_{ki})] \bullet 1 = 0$$

$$\frac{d\Phi}{da_1} = 2 \sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 z_{1i} + \dots + a_k z_{ki})] \bullet z_{1i} = 0$$

.....

$$\frac{d\Phi}{da_k} = 2 \sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 z_{1i} + \dots + a_k z_{ki})] \bullet z_{ki} = 0$$

Раскрывая скобки и перенося направо слагаемые, не содержащие неизвестных коэффициентов $a_j, j=0, \dots, k$, получим систему линейных алгебраических уравнений

заболеваемости находится в пределах интервала $\pm\sigma$ от полученной в результате обработки статистических данных его оценки. Для доверительного интервала $\pm 2\sigma$ эта вероятность — 95%, для интервала $\pm 3\sigma$ — 99.7%.

Для практического подтверждения вывода о влиянии загрязнения воздуха производственной среды на здоровье работников следует доказать достоверность различий показателей частоты не болевших лиц, работающих во вредных условиях и контрольном участке. С этой целью вычисляют коэффициент достоверности различий по формуле:

$$t = \frac{P_1 - P_2}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}, \quad (9)$$

Если коэффициент достоверности t более 3.2, то вероятность различий составляет более 99.7%. Если коэффициент t равен 2.4, то вероятность снижается до 95%. Эта величина принимается за нижнюю границу допустимой надежности различий. Проведенный анализ на Гомельском химическом заводе (ГХЗ) позволил разработать математические линейные модели зависимости количества случаев заболеваний с временной утратой трудоспособности на 100 работающих (y) от вредных химических веществ (X_1, X_2) в некоторых цехах (таблица 1). Анализ коэффициентов линейной регрессии на статистическую значимость показал, что все они статистически значимы при уровне $\alpha = 0,05$.

Таблица 1 – Математические линейные модели зависимости уровня заболеваемости в условиях рискогенных ситуаций в цехах ГХЗ

Цеха ГХЗ	Вид математической модели	Наименование вредных химических веществ (в % к ПДК);	Коэффициент детерминации, R^2	Средне квадратичное отклонение, σ	Средняя относительная ошибка аппроксимации, %
Цех гранулированного аммофоса	$y = 10,93 + 0,66 X_1 + 0,43 X_2$	X_1 – пыль аммофоса X_2 – пыль туков	0,67	1,2	4,32
цех сложно-смешанных минеральных удобрений	$y = 16,38 + 2,97 X_1 + 0,12 X_2$	X_1 – карбамид; X_2 – калия хлорид	0,71	1,7	3,2
Цех фосфорной кислоты	$y = 68,94 + 0,26 X_1 + 0,33 X_2$	X_1 – водород фтористый; X_2 – ангидрид фосфорный	0,69	0,63	4,8

Как видно из таблицы все модели имеют высокие коэффициенты детерминации и небольшие относительные ошибки аппроксимации. Следовательно, математические линейные модели зависимости уровня заболеваемости от вредных химических веществ в воздухе рабочей зоны адекватны и имеют высокую точность. На основании разработанных математических моделей было сделано прогнозирование здоровья работников в условиях рискованных ситуаций, выполненное с помощью метода скользящих средних (рисунки 1–3).

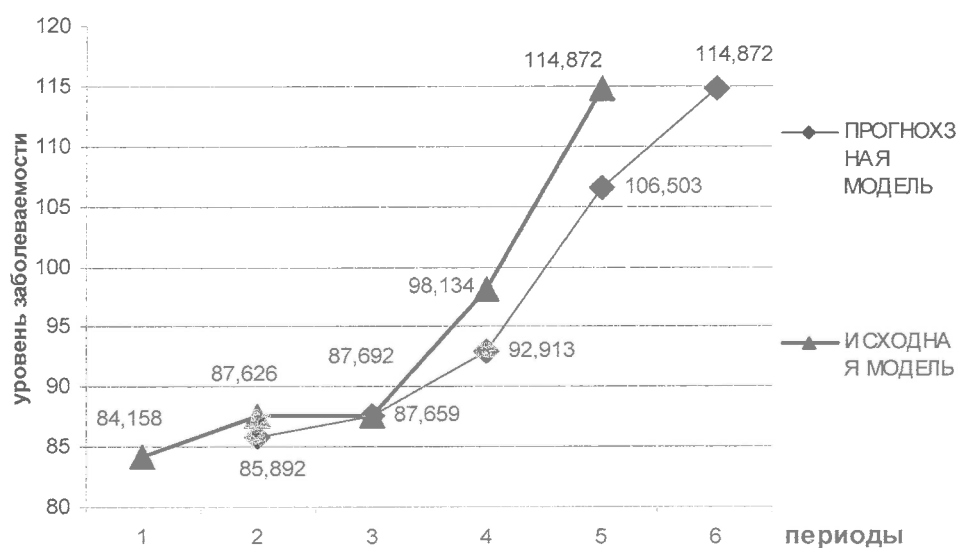


Рисунок 1 – Прогнозирование здоровья работников в цехе гранулированного аммофоса ГХЗ

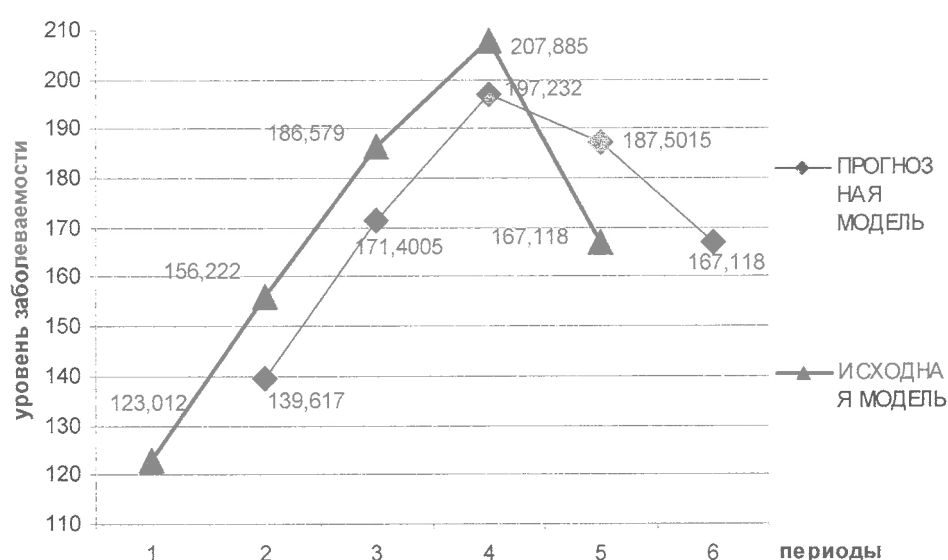


Рисунок 2 – Прогнозирование здоровья работников в цехе сложно-смешанных минеральных удобрений ГХЗ

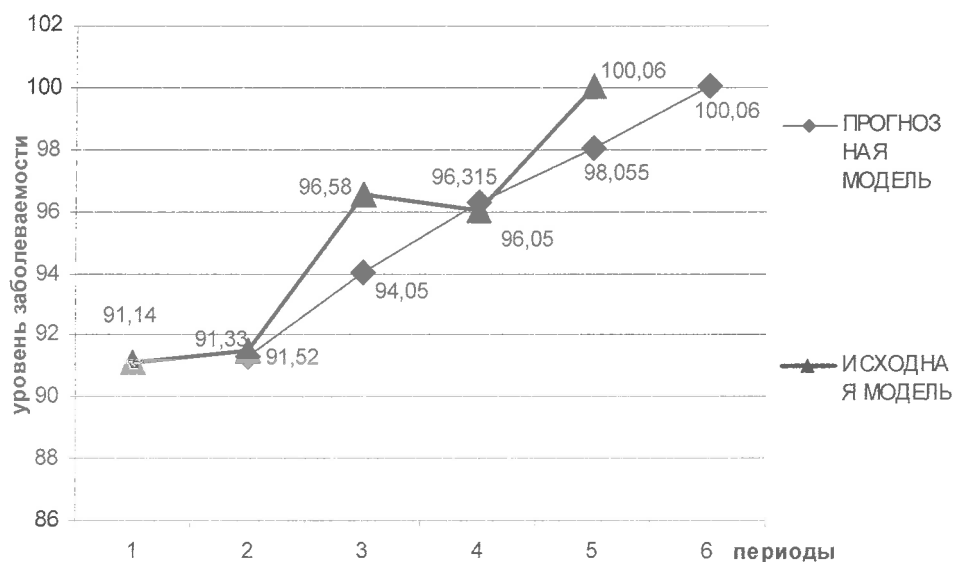


Рисунок 3 – Прогнозирование здоровья работников в цехе фосфорной кислоты ГХЗ

Как видно из рисунков модель прогнозирования здоровья работников в условиях рискогенных ситуаций адекватна. В цехе фосфорной кислоты совпадают прогнозные значения с исходными во втором и четверном периоде (2003 и 2005 года соответственно). В цехе гранулированного аммофоса прогнозные значения аналогичны исходным в третьем периоде (2003 год).

Вывод. Разработанная математическая линейная модель максимально эффективно использует исходные данные и требует их предельной и всеобъемлющей информативности. На основании уравнения регрессии было сделано прогнозирование здоровья работников в условиях рискогенных ситуаций, выполненное с помощью метода скользящих средних. Данный метод прогнозирования позволяет уменьшить влияние случайных факторов на уровень заболеваемости с временной утратой трудоспособности работников химически-опасных объектов и, таким образом, выявить основную тенденцию его развития. Следовательно, своевременно внедрять мероприятия, способствующие повышению безопасности труда работающих.

Литература

1. Глухов, В.В. Математические методы и модели для менеджмента: Учебник для вузов / В.В. Глухов, М.Д. Медников, С.Б. Коробко. – СПб.: Издательство «Лань», 2000. – 480 с.

1. Головач, Э.П. Управление устойчивостью и рисками в производственных системах / Э.П. Головач, А.И. Рубахов. – Брест: Брест.гос.техн.ун-т, 2001. – 273 с.
2. Здоровье и окружающая среда: Сб.науч.тр. Вып.9 / ГУ «Республиканский научно-практический центр гигиены». Гл. ред. С.М. Соколов.- Минск, 2007.-1160 с.
3. Конвенция Международной организации труда «О защите трудящихся от профессионального риска, вызываемого загрязнением воздуха, шумом и вибрацией на рабочих местах», №148 — 1977
4. Моделирование и анализ безопасности, риска и качества в сложных системах / [под редакцией И.А. Рябины, Е.Д. Соложенцева]. – СПб.: Омега, 2001. – 370 с.
5. Хата, З.И. Здоровье человека в современной экологической обстановке / Захар Ильич Хата. – М.: Изд.-торговый дом «Гранд»: Фаир пресс, 2001. – 207 с.

Поступила в редакцию 2.06.2008

E.E. Kucheneva

**DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL FOR FORECASTING
HEALTH OF WORKERS IN CONDITIONS OF INFLUENCE HAZARDOUS
SITUATIONS**

The mathematical linear model of dependence quantity disease with time disability from harmful chemical substances for forecasting a level of health workers in conditions of influence hazardous situations is constructed with the purpose of revealing the basic tendency of its development. The given method will allow to introduce in due time the actions promoting increase of safety work working on Gomel chemical plant.