

## УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

УДК 658.382

**Б. В. Севастьянов**, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет  
**Р. О. Шадрин**, аспирант, Ижевский государственный технический университет

### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧИСЛА ПОСТРАДАВШИХ НА ПРОИЗВОДСТВЕ СО СМЕРТЕЛЬНЫМ ИСХОДОМ В УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

*Исследованы тенденции изменения коэффициента частоты со смертельным исходом в отраслях экономики Удмуртской Республики, разработана математическая модель, просчитаны прогнозируемые величины показателя.*

**Ключевые слова:** техника безопасности, травматизм, прогнозирование числа дней нетрудоспособности, несчастные случаи на производстве.

Для оценки состояния охраны труда и эффективности управления охраной труда на практике используются ряд критериев, в том числе показатель частоты несчастных случаев со смертельным исходом  $K_{см}$ . Показатель  $K_{см}$  характеризует уровень принудительной смертности на производстве в течение года, приходящейся на 1000 работающих, отнесенный к среднесписочному числу работающих в организации [1].

Изучение динамики показателей коэффициента частоты травматизма и частоты смертности за период с 2000 по 2009 г. позволило получить модель прогнозирования числа пострадавших со смертельным исходом в расчете на 1000 работающих [2]:

$$K_{см}(t) = 0,019K_{ч}(t). \quad (1)$$

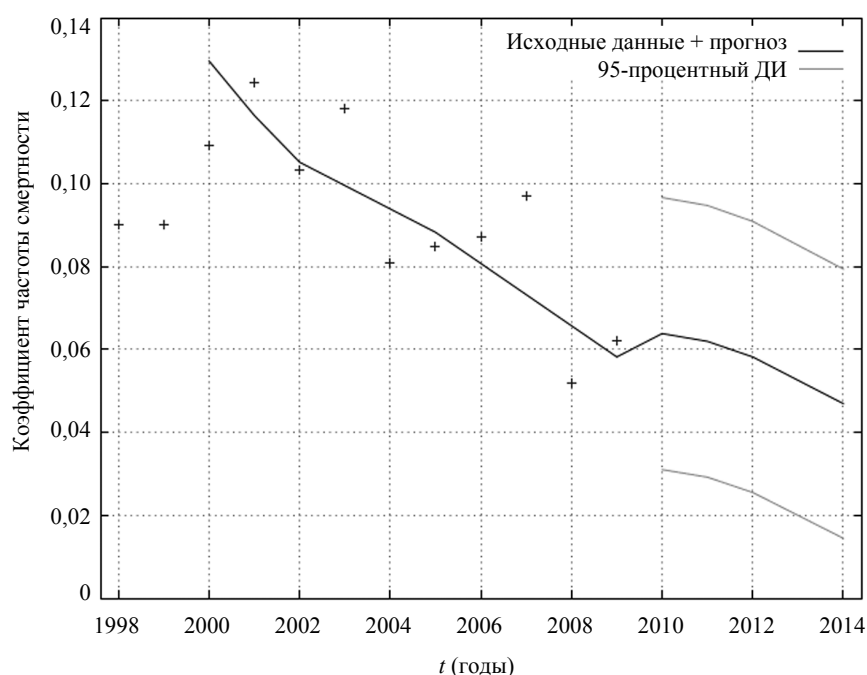
Из уравнения (1) следует, что в Удмуртии доля несчастных случаев со смертельным исходом в среднем составляет 1,9 % от их общего числа. Динамика данного показателя, прогноз и доверительная область представлена на рисунке.

На основе этих данных построим график прогноза количества пострадавших со смертельным исходом ( $m_2$ ) по формуле

$$m_2(t) = K_{см}(t)L_1(t), \quad (2)$$

где  $K_{см}(t)$  – коэффициент смертности;  $L_1(t)$  – среднесписочная численность работающих в обследуемых видах экономической деятельности.

Результаты прогнозирования представлены в табл. 1.



Результаты прогнозирования числа пострадавших со смертельным исходом в Удмуртской Республике

Таблица 1. Результаты прогнозирования числа пострадавших со смертельным исходом по Удмуртской Республике

$t$ , год	$K_{см}$	Доверительный интервал $K_{см}$	$L_1$ – среднесписочная численность работающих в обследуемых видах экономической деятельности, тыс. чел.	$m_2$ – число пострадавших со смертельным исходом, чел.	Доверительный интервал $m_2$
2010	0,064	0,031–0,097	312,1	20	10–30
2011	0,062	0,029–0,095	303,4	19	9–29
2012	0,058	0,026–0,091	295,0	17	8–27
2013	0,053	0,020–0,085	286,8	15	6–24
2014	0,047	0,014–0,079	287,9	14	4–23

### Прогнозирование коэффициента частоты смертности в отраслях экономики Удмуртской Республики

Представим коэффициент частоты смертности в следующем виде:

$$K_{см}(t) = \sum_{i \in \Omega} p_i(t) K_{смi}(t), \quad (3)$$

где  $p_i(t)$  – доля работников, занятых в  $i$ -й отрасли в год  $t$ ;  $K_{смi}(t)$  – коэффициент частоты смертности в  $i$ -й отрасли в год  $t$ ;  $\Omega = \{A, B, C, D, E, F, G, H, I, K, N, O\}$  – литера отрасли в соответствии с ОКВЭД [3].

Отраслевая структура коэффициента частоты травматизма со смертельным исходом за 2004–2009 годы приведена в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что отраслевая структура коэффициента частоты пострадавших со смертельным исходом отличается от структуры коэффициента частоты травматизма. Первые шесть отраслей (96,3 %) с наибольшим удельным весом пострадавших со смертельным исходом располагаются в следующем порядке:

- «Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство» – 33,8 %;
- «Строительство» – 24,2 %;
- «Обрабатывающие производства» – 14,0 %;
- «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды» – 9,6 %;
- «Транспорт и связь» – 9,6 %;
- «Добыча полезных ископаемых» – 5,1 %.

Прогноз числа смертельных исходов по отраслям экономики будем определять по формуле

$$K_{смi}(t) = \gamma_i K_{чи}(t), \quad (4)$$

где  $\gamma_i$  – доля смертельных исходов в  $i$ -й отрасли. По отраслям, где не было зафиксировано смертельных случаев, будем считать, что этот показатель равен константе:

$$K_{смi}(t) = \gamma^0 K_{чи}(t), \quad (5)$$

где  $\gamma^0 = 0,019$  – средний показатель по всем отраслям за 2004–2009 годы. В табл. 3 [3] представлены оценки параметра  $\gamma_i$  за 2004–2009 годы как отношения  $\gamma_i = K_{смi}(t)/K_{чи}(t)$ .

Таблица 2. Отраслевая структура коэффициента частоты пострадавших со смертельным исходом в отраслях экономики по Удмуртской Республике в 2004–2009 гг.

Отрасль	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Среднее
<b>Удмуртская Республика</b>	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %
РАЗДЕЛ А. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	32,1 %	43,3 %	32,3 %	21,2 %	35,3 %	44,4 %	33,8 %
РАЗДЕЛ В. Рыболовство, рыбоводство	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
РАЗДЕЛ С. Добыча полезных ископаемых	3,6 %	6,7 %	3,2 %	6,1 %	5,9 %	5,6 %	5,1 %
РАЗДЕЛ Д. Обрабатывающие производства	14,3 %	10,0 %	9,7 %	21,2 %	17,6 %	11,1 %	14,0 %
РАЗДЕЛ Е. Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	14,3 %	16,7 %	6,5 %	3,0 %	11,8 %	5,6 %	9,6 %
РАЗДЕЛ Ф. Строительство	21,4 %	10,0 %	19,4 %	39,4 %	29,4 %	27,8 %	24,2 %
РАЗДЕЛ Г. Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования	0,0 %	3,3 %	3,2 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	1,3 %
РАЗДЕЛ Н. Гостиницы и рестораны	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
РАЗДЕЛ И. Транспорт и связь	14,3 %	3,3 %	19,4 %	9,1 %	0,0 %	5,6 %	9,6 %
РАЗДЕЛ К. Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
РАЗДЕЛ Н. Здравоохранение и предоставление социальных услуг	0,0 %	3,3 %	6,5 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	1,9 %
РАЗДЕЛ О. Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	0,0 %	3,3 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,6 %

Таблица 3. Оценка отношения коэффициента частоты смертельных исходов к коэффициенту частоты травматизма  $y_i$  по Удмуртской Республике в 2004–2009 гг., %

Отрасль	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Среднее
<b>Удмуртская Республика</b>	1,63	1,82	2,01	2,51	1,50	2,00	1,91
РАЗДЕЛ А. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	1,33	2,29	2,04	1,83	1,90	2,64	2,01
РАЗДЕЛ В. Рыболовство, рыбоводство		0,00		0,00			0,00
РАЗДЕЛ С. Добыча полезных ископаемых	4,35	7,14	4,00	7,69	5,26	9,09	6,26
РАЗДЕЛ D. Обрабатывающие производства	0,80	0,47	0,57	1,40	0,70	0,63	0,76
РАЗДЕЛ E. Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	7,27	9,62	6,25	2,78	6,06	2,38	5,73
РАЗДЕЛ F. Строительство	3,87	2,13	3,85	10,08	3,94	7,25	5,18
РАЗДЕЛ G. Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования	0,00	3,57	3,85	0,00%	0,00	0,00	1,24
РАЗДЕЛ H. Гостиницы и рестораны			0,00		0,00		0,00
РАЗДЕЛ I. Транспорт и связь	2,15	1,01	3,39	2,52%	0,00	1,59	1,78
РАЗДЕЛ K. Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00	0,00	0,00
РАЗДЕЛ N. Здравоохранение и предоставление социальных услуг	0,00	1,25	2,38	0,00%	0,00	0,00	0,61
РАЗДЕЛ O. Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	0,00	10,00	0,00	0,00%	0,00	0,00	1,67

Из табл. 3 следует, что наибольший коэффициент  $y_i$  имеется для таких отраслей, как:

- «Добыча полезных ископаемых» – 6,26 %;
- «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды» – 5,73 %;
- «Строительство» – 5,18 %;
- «Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство» – 2,01 %;
- «Транспорт и связь» – 1,78 %;
- «Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг» – 1,67 %.

Заметим, что коэффициент  $y_i$  не является безусловным индикатором степени повышенного риска травматизма со смертельными исходами в отраслях экономики. Это связано с дискретностью рассматриваемых объектов, относительно небольшими объе-

мами данных и малым числом рассматриваемых случаев [1]. В данной работе  $y_i$  используется только при вычислении коэффициента частоты смертельных случаев в прогнозируемые годы.

Результаты прогнозирования числа смертельных исходов по отраслям представлены в табл. 4.

В табл. 5 представлены вероятности того, что произойдет более чем один случай смертельного исхода для тех отраслей, в которых не прогнозируются смертельные исходы:

$$P(m_{ci}(t) > 0) = 1 - P(m_{ci}(t) = 0), \quad (6)$$

где  $P(m_{ci}(t) = 0)$  – вероятность события, вычисляемая по биномиальному закону распределения.

Таблица 4. Прогноз числа смертельных исходов по отраслям экономики Удмуртской Республики на 2010–2014 гг.

Отрасль	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Удмуртская Республика</b>	20	19	17	15	13
РАЗДЕЛ А. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	6	5	5	4	3
РАЗДЕЛ В. Рыболовство, рыбоводство	0	0	0	0	0
РАЗДЕЛ С. Добыча полезных ископаемых	1	1	1	1	1
РАЗДЕЛ D. Обрабатывающие производства	3	3	2	2	2
РАЗДЕЛ E. Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	2	2	2	2	2
РАЗДЕЛ F. Строительство	6	6	5	5	4
РАЗДЕЛ G. Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования	0	0	0	0	0
РАЗДЕЛ H. Гостиницы и рестораны	0	0	0	0	0
РАЗДЕЛ I. Транспорт и связь	2	2	2	2	1
РАЗДЕЛ K. Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг	0	0	0	0	0
РАЗДЕЛ N. Здравоохранение и предоставление социальных услуг	0	0	0	0	0
РАЗДЕЛ O. Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	0	0	0	0	0

Таблица 5. Прогноз вероятности смертельного исхода в отраслях экономики Удмуртской Республики на 2010–2014 гг.

Отрасль	2010	2011	2012	2013	2014
РАЗДЕЛ В. Рыболовство, рыбоводство	0,6 %	0,6 %	0,6 %	0,5 %	0,5 %
РАЗДЕЛ Г. Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования	20,0 %	20,0 %	19,0 %	16,9 %	15,9 %
РАЗДЕЛ Н. Гостиницы и рестораны	0,6 %	0,6 %	0,6 %	0,5 %	0,5 %
РАЗДЕЛ К. Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг	13,3 %	13,3 %	12,2 %	11,0 %	9,9 %
РАЗДЕЛ Н. здравоохранение и предоставление социальных услуг	32,3 %	32,3 %	30,5 %	28,7 %	26,8 %
РАЗДЕЛ О. Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	15,3 %	15,0 %	14,2 %	13,0 %	11,8 %

#### Список литературы

1. Севастьянов Б.В., Лисина Е. Б., Тюрикова И. Г. Управление безопасностью труда : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. В 2 ч. / под общ. ред. проф. Б. В. Севастьянова. – Ч. I. Государственное управление охраной труда. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2010. – 296 с.
2. Доклад «Состояние условий и охраны труда в Удмуртской Республике в 2009 году и меры по их улучше-

нию» // Министерство труда Удмуртской Республики. – URL: <http://mintrud.udmurt.ru/>

3. Севастьянов Б. В. Разработка модели прогнозирования и управления рисками повреждения здоровья работающими : Отчет по НИР по государственному контракту от 23 августа 2010 № 28/МТ-10 / Б. В. Севастьянов, А. П. Тюрин, Р. О. Шадрин, И. Г. Русяк, В. Г. Суфиянов, И. В. Васильева. – Ижевск : ИжГТУ, 2010.

*B. V. Sevastyanov*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University  
*R. O. Shadrin*, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University

#### Industrial Mortal Accidents Forecast in Udmurt Republic

*The industrial mortal accidents trends in economic sectors of the Udmurt Republic were examined. The mathematical model was developed, and the predicted index values were calculated.*

**Key words:** industrial safety, injury rate, forecasting the number of disability days, industrial mortal accidents.

УДК 681.3.01

**А. И. Мурынов**, доктор технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет  
**Е. М. Сенилова**, аспирант, Ижевский государственный технический университет

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ТЕТРАГОНАЛЬНОЙ РЕГУЛЯРНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО ДЕФОРМИРУЕМОЙ СЕТИ

*Предложена TRN-модель для описания структуры поверхности пространственных 3D-объектов с учетом ее топологических свойств – гладкости и возможных нерегулярных образований различного порядка.*

**Ключевые слова:** трехмерный пространственный объект, трехмерная графика, тетрагональная регулярная сеть, формообразование и анимация объектов.

**М**оделирование трехмерных (3D) объектов (тел) в основном основано на использовании модели треугольной регулярной сети (TIN-модели), сопровождаемой небольшим набором стандартных примитивов тел с правильной геометрической формой. Несмотря на простоту TIN-модели и ее универсальный характер, обеспечиваемый возможностью аппроксимации любой поверхности посредством ее огранки треугольными плитками, следует признать, что эта модель дает слишком низкоуровневое и ресурсозатратное описание поверхностей тел. Моделирование динамики и анимация 3D-

сцен требуют задания новых структур данных, определяющих параметры и характер динамики. При этом тактовые состояния 3D-сцен и их проекции пересчитываются независимо на каждом такте работы системы.

Решение этой проблемы основано на модели тетрагональной регулярной пространственно деформируемой сети (TRN-модели) 3D пространственных объектов (тел). TRN-модель позволяет ликвидировать многие принципиальные трудности, возникающие при использовании TIN-модели, является гораздо менее ресурсозатратной и обеспечивает возможность полу-