

УДК 658.382

**Р. О. Шадрин**, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
**Б. В. Севастьянов**, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
**Е. Б. Лисина**, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
**К. В. Гасников**, кандидат медицинских наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ, СМЕРТНОСТИ И ТЯЖЕСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА ПО УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

**В** ыбор входных параметров для разработки математических моделей прогнозирования показателей травматизма в Удмуртской Республике проводился из показателей социально-экономического развития региона с использованием метода корреляционного анализа [1].

В уравнении для коэффициента частоты смертельных исходов  $K_{с.и.}$ :  $x_1$  – средства, израсходованные на мероприятия по охране труда в расчете на одного работающего ( $S$ );  $x_2$  – инвестиции в основной капитал в фактически действовавших ценах ( $I$ );  $x_3$  – валовой региональный продукт ( $V$ ).

В уравнении для коэффициента частоты профессиональных заболеваний  $K_{п.з.}$ :  $x_1$  – валовой региональный продукт ( $V$ );  $x_2$  – средства, израсходованные на мероприятия по охране труда в расчете на одного работающего ( $S$ );  $x_3$  – инвестиции в основной капитал в фактически действовавших ценах ( $I$ ).

В уравнении для коэффициента тяжести  $K_T$ :  $x_1$  – доля работников, занятых в условиях, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормам, от общего числа работающих ( $d$ );  $x_2$  – средства, израсходованные на мероприятия по охране труда в расчете на одного работающего ( $S$ );  $x_3$  – валовой региональный продукт ( $V$ ).

Система уравнений для коэффициента частоты смертельных исходов  $K_{с.и.}$ :

$$\begin{cases} 1,1 = 13a_0 + 53904,4a_1 + 420,9a_2 + 2282,7a_3, \\ 3403,7 = 53904,4a_0 + 329874061,6a_1 + \\ + 2265829,8a_2 + 12478095,7a_3, \\ 28,3 = 420,9a_0 + 2265829,8a_1 + 17673,1a_2 + 94742,4a_3, \\ 152,1 = 2282,7a_0 + 12478095,7a_1 + 94742,4a_2 + \\ + 513421,6a_3. \end{cases}$$

Система уравнений для коэффициента частоты профессиональных заболеваний  $K_{п.з.}$ :

$$\begin{cases} 17,4 = 13a_0 + 2282,7a_1 + 53904,4a_2 + 420,9a_3, \\ 2757,2 = 2282,7a_0 + 513421,6a_1 + 12478095,7a_2 + \\ + 94742,4a_3, \\ 65703,2 = 53904,4a_0 + 12478095,76a_1 + \\ + 329874061,6a_2 + 2265829,8a_3, \\ 506,4 = 420,9a_0 + 94742,4a_1 + 2265829,8a_2 + 17673,1a_3. \end{cases}$$

Система уравнений для коэффициента тяжести  $K_T$ :

$$\begin{cases} 408,5 = 13a_0 + 298,8a_1 + 53904,4a_2 + 2282,7a_3, \\ 9869,7 = 298,8a_0 + 7199,6a_1 + 1391174,2a_2 + \\ + 58298,3a_3, \\ 1943009,9 = 53904,4a_0 + 1391174,2a_1 + \\ + 329874061,6a_2 + 12478095,9a_3, \\ 80787,2 = 2282,7a_0 + 58298,3a_1 + 12478095,9a_2 + \\ + 513421,6a_3. \end{cases}$$

Значения неизвестных параметров систем находятся методом Крамера.

Решение системы уравнений для коэффициента частоты смертельных исходов  $K_{с.и.}$ :

$$K_{с.и.} = 0,1295 - 0,133 \cdot 10^{-5}S + 0,00143I - 0,00051V.$$

Решение системы уравнений для коэффициента частоты профессиональных заболеваний  $K_{п.з.}$ :

$$K_{п.з.} = 1,835 - 0,0049V + 0,64 \cdot 10^{-4}S + 0,00312I.$$

Решение системы уравнений для коэффициента тяжести  $K_T$ :

$$K_T = 11,542 + 0,427d + 3,28 \cdot 10^{-4}S + 0,0495V.$$

Значения расчетов коэффициента множественной корреляции представлены в табл. 1.

Рассчитанные значения коэффициента множественной детерминации  $R^2$  (квадрат множественного коэффициента корреляции) и скорректированные индексы множественной детерминации представлены в табл. 2 и 3 соответственно.

Таблица 1. Результаты расчетов множественного коэффициента корреляции

Показатель травмирования	$\Delta r$	$\Delta r_{11}$	$r$
$K_{с.и}$	0,00117	0,00819	0,926
$K_{п.з}$	0,00145	0,00819	0,907
$K_T$	0,00274	0,0213	0,933

Таблица 2. Рассчитанные коэффициенты детерминации

Показатель травмирования	$K_{с.и}$	$K_{п.з}$	$K_T$
$R^2$	0,857	0,823	0,871

Таблица 3. Скорректированный индекс множественной детерминации

Показатель травмирования	$K_{с.и}$	$K_{п.з}$	$K_T$
$R_{ск}^2$	0,809	0,763	0,828

Большие значения коэффициентов детерминации  $R^2$  указывают на то, что модели регрессии удовлетворительно аппроксимируют исходные данные и такими регрессионными моделями можно воспользоваться для прогноза значений искомого показателя.

Рассчитанные средние ошибки аппроксимации представлены в табл. 4.

Таблица 4. Средняя ошибка аппроксимации

Показатель травмирования	$K_{с.и}$	$K_{п.з}$	$K_T$
$\bar{\varepsilon}, \%$	11,49	8,46	6,19

Как видно из результата расчетов, средние ошибки аппроксимации не превышают допустимые значения в 12-15 %, что говорит об адекватности полученных моделей [2].

Для проверки значимости каждого из коэффициентов  $a_0, a_1, \dots, a_n$  используется  $t$ -статистика Стьюдента. В данном случае при уровне значимости

$\alpha = 0,05$  и числе степеней свободы  $k = 13 - 3 - 1 = 9$  критическое значение  $t_{\alpha_i}^{кр} = 2,26$ . Результаты расчетов представлены в табл. 5.

Таблица 5. Рассчитанные опытные значения  $t$ -статистики Стьюдента

Показатель травмирования	$t_{\alpha_i}^{оп}$		
	$a_1$	$a_2$	$a_3$
$K_{с.и}$	8,17	8,67	7,23
$K_{п.з}$	6,17	6,39	2,29
$K_T$	7,72	3,46	7,79

Если окажется, что при заданном уровне значимости  $\alpha$  уравнение незначимо, то пользоваться им нельзя, а найденной зависимостью следует пренебречь.

Для проверки значимости уравнения регрессии используется опытная  $F$ -статистика Фишера. При выбранном уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и числе степеней свободы  $k_1 = 13 - 3 - 1 = 9, k_2 = 3$  критическое значение  $F_{кр} = 8,81$ . Рассчитанные опытные значения критерия Фишера представлены в табл. 6.

При сравнении опытных значений критериев Фишера с критическим (при уровне значимости  $\alpha = 0,05, F_{кр} = 8,81$ ), выявлено удовлетворительное выполнение условий неравенства  $F_{оп} > F_{кр}$ , что дает право сделать вывод о значимости уравнений при вероятности  $p = 1 - \alpha = 0,95$ .

Заключительная статистическая процедура – оценка точности построенных уравнений регрессии с помощью среднеквадратичной погрешности. Процедура заключается в оценке близости опытных значений  $y_i$  случайной величины  $Y$  и ее расчетных значений  $f(x_i)$ , получаемых с помощью уравнения линейной регрессии. Результаты расчета среднеквадратичной погрешности представлены в табл. 7.

На рис. 1–3 представлены фактические значения исследуемых величин, а также рассчитанные прогнозные значения и результаты работы моделей на основе ретроспективных данных.

Таблица 6. Рассчитанные опытные значения критерия Фишера

Показатель травмирования	$\sum_{i=1}^m [f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}) - \bar{y}]^2$	$\sum_{i=1}^m [y_i - f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})]^2$	$F_{оп}$
$K_{с.и}$	0,0098	0,0016	18,42
$K_{п.з}$	0,86	0,19	13,71
$K_T$	734,81	108,94	20,24

Таблица 7. Результаты расчета среднеквадратичной погрешности уравнений

	$\sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 x_{i1} + \dots + a_j x_{ij} + \dots + a_n x_{in})]^2$	$\delta$
$K_{с.и}$	0,0016	0,012
$K_{п.з}$	0,1879	0,125
$K_T$	108,9370	3,013

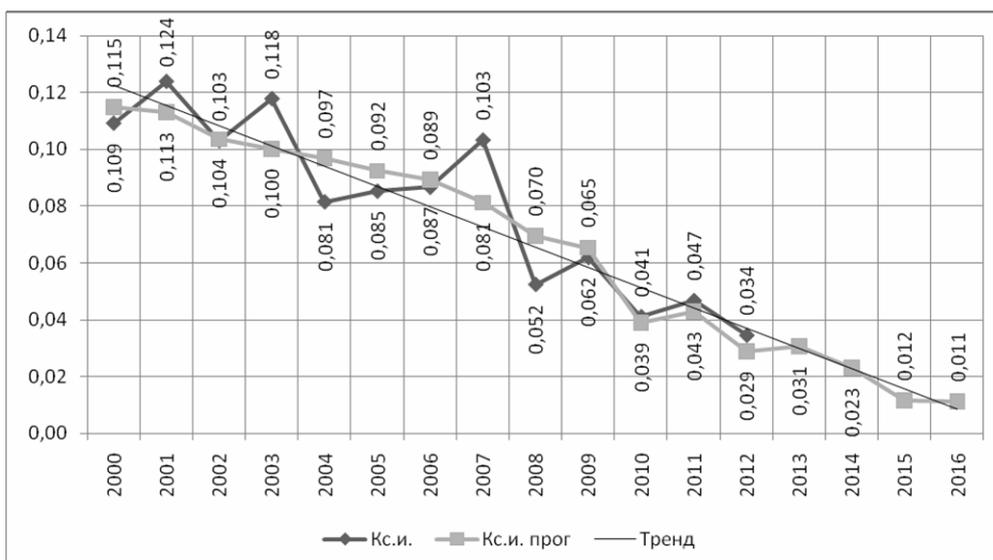


Рис. 1. Результаты прогнозирования коэффициента частоты смертельных исходов  $K_{с.и.}$  на 2013–2016 гг.

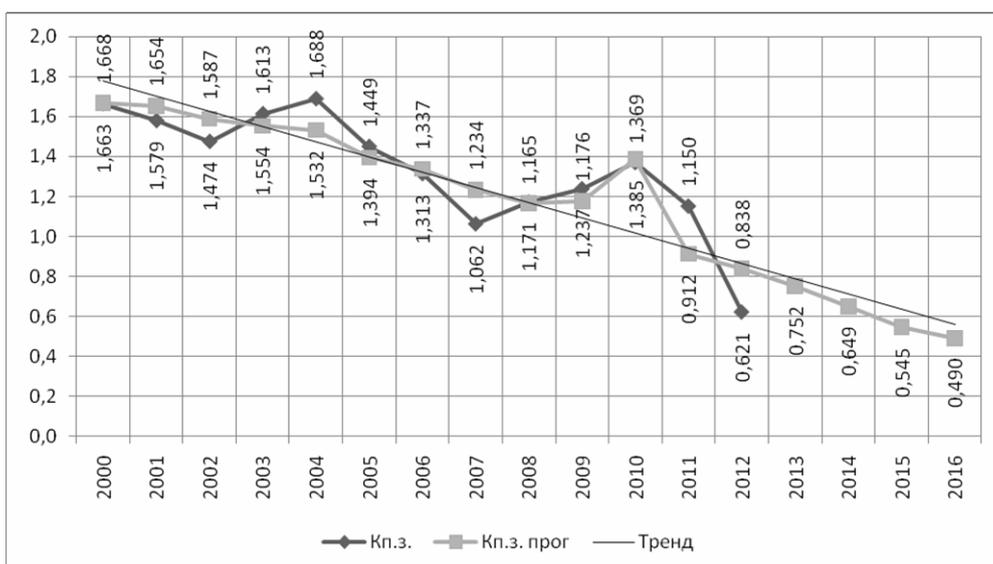


Рис. 2. Результаты прогнозирования коэффициента частоты профзаболеваемости  $K_{п.з.}$  на 2013–2016 гг.

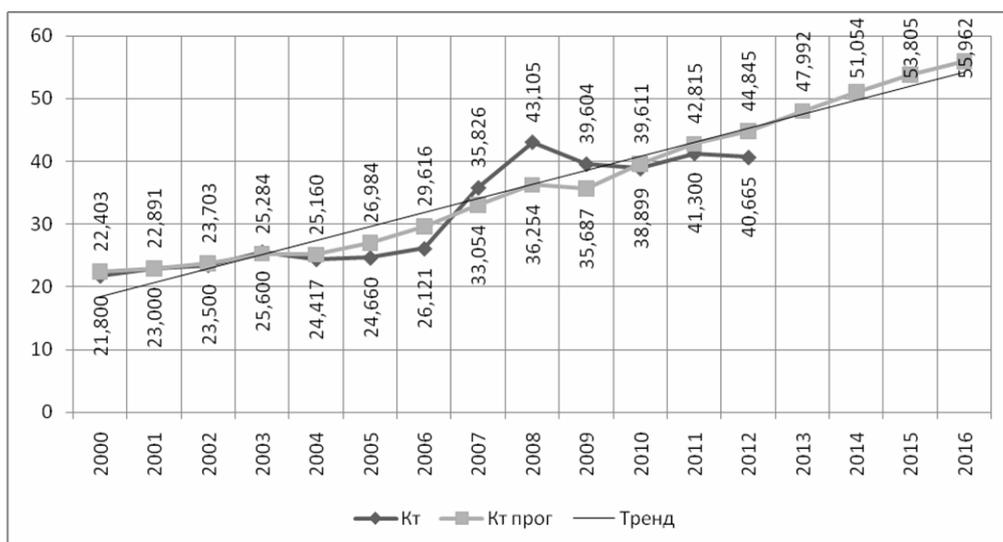


Рис. 3. Результаты прогнозирования коэффициента тяжести травматизма  $K_t$  на 2013–2016 гг.

**Библиографические ссылки**

1. Отчет по НИР по контракту с Министерством труда УР от 23 августа 2010 № 28/МТ-10 на тему «Разработка модели прогнозирования и управления рисками повреждения здоровья работающими» / исп.: Б. В. Севастьянов,

Получено 10.12.2014

А. П. Тюрин, Р. О. Шадрин, И. Г. Русяк, В. Г. Суфиянов, И. В. Васильева.

2. *Лялькина Г. Б., Бердышев О. В.* Математическая обработка результатов эксперимента : учеб. пособие. – Пермь : Изд-во Перм. нац. иссл. политех. ун-та, 2013. – 78 с.

УДК 681.3.06

**С. В. Вологдин**, доктор технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

**Д. В. Попов**, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

**ПРОГРАММНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕСТОВЫХ СЦЕНАРИЕВ (НА ПРИМЕРЕ ДЫМОВОГО ТЕСТИРОВАНИЯ)**

Для тестирования программного обеспечения используются различные виды тестирования, не последнее значение среди которых имеет дымовое, рассматриваемое как короткий цикл тестов, выполняемый для подтверждения того, что после сборки кода (нового или исправленного) устанавливаемое приложение стартует и выполняет основные функции [1].

Вывод о работоспособности основных функций делается на основании результатов поверхностного тестирования наиболее важных модулей приложения на предмет возможности выполнения требуемых задач и наличия быстро находимых критических и блокирующих дефектов. В случае отсутствия таких дымовое тестирование объявляется пройденным, и приложение передается для проведения полного цикла тестирования, в противном случае дымовое тестирование объявляется проваленным, и приложение уходит на доработку.

Современные методологии разработки используют подход непрерывного слияния, который подразумевает ежедневную сборку программного продукта. Сборки не всегда бывают качественными и могут содержать в себе ошибки в работе критичного для конечного пользователя функционала, поэтому проверка ключевого функционала должна осуществляться непосредственно после сборки и перед передачей на тестирование программного продукта. Это позволяет сократить потерю времени на тестирование сборки, содержащей блокирующие ошибки [2].

Дымовое тестирование позволяет обнаруживать критичные ошибки заранее, правка которых начнется незамедлительно после их обнаружения. Автоматизация дымового тестирования позволяет собрать все ошибки на текущей версии собранного продукта и передать их в отдел разработки.

Для облегчения работы, экономии времени и людских ресурсов необходимо внедрить автоматизацию тестовых сценариев для дымового тестирования. Для автоматизации тестовых сценариев дымового тестирования необходимо использовать такой же язык программирования, какой используется при

разработке системы с целью экономии времени и средств для интеграции автоматизированных тестов в систему [3]. В случае с BPMS ELMA (система управления бизнес-процессами ELMA) этим языком программирования является C# [4].

Автоматизированные тесты для данной системы разрабатывают, как правило, с помощью Microsoft Visual Studio или в редакторе сценариев дизайнера ELMA.

С целью экономии времени и средств на разработку, а в дальнейшем и внедрение автоматизированных тестов было принято решение использовать редактор сценариев дизайнера ELMA.

Дизайнер ELMA – программно-инструментальное средство для визуализации бизнес-процессов предприятия, а также для создания различного типа объектов системы, типов документов, организационной структуры, типов проектов и отчетов.

Дизайнер ELMA позволит визуальным образом смоделировать бизнес-процесс, направленный на автоматический запуск необходимых тестов, с начальной формой, которая позволит выбирать те тесты, которые необходимо выполнить, а также позволит визуальным образом отразить результаты в сводном отчете в виде таблицы, в котором будут указаны наименования тестов, их результат, ошибки и комментарии к этим ошибкам.

Из этих данных можно сделать вывод, что дизайнер ELMA позволяет наиболее эффективно создавать автоматические тесты, которые представлены визуальным образом, а также присутствует возможность редактировать отчеты и начальную форму автоматических тестов.

При разработке программного обеспечения существует множество методологий разработки. Наиболее подходящей методологией разработки программного обеспечения в рамках автоматизации тестовых сценариев дымового тестирования является спиральная модель с элементами каскадной модели в секторах спирали. Преимуществами данной модели в поставленной задаче являются:

1. Разработка функционирующего прототипа или демоверсии в короткие сроки.