

УДК 331.42

О СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЧИСЛЕННОСТИ ПОСТРАДАВШИХ ОТ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

В.И. Татаренко, О.В. Усикова

Сибирская государственная геодезическая академия

E-mail: v.i.tatarenko@ssga.ru, o.v.usikova@yandex.ru

Установлена статистическая зависимость между количеством пострадавших от несчастных случаев на производстве и размером средств, израсходованных на мероприятия по улучшению условий и охране труда, а также среднесписочной численностью работающих в строительстве в Новосибирской области и в Российской Федерации. На основе полученной зависимости оценена корреляция количества несчастных случаев и финансирования мероприятий по охране труда. Регрессионный анализ выполнен по методу наименьших квадратов, с последующей проверкой на автокорреляцию и мультиколлинеарность. В результате исследований данных по Новосибирской области получено несколько уравнений множественной регрессии, обоснован выбор наиболее хорошо описывающего предложенные параметры модели, сделан прогноз. Получено уравнение множественной линейной регрессии по травматизму в Российской Федерации, проверены его параметры, рассчитано прогнозное значение количества пострадавших. Установлена зависимость между исследуемыми признаками и сделано предложение по дальнейшему использованию результатов исследования.

Ключевые слова: корреляция, несчастный случай, регрессия, модель, охрана труда, строительство.

ON STATISTICAL MODEL OF NUMBER OF INJURED BY ACCIDENTS AT WORK

V.I. Tatarenko, O.V. Usikova

Siberian State Academy of Geodesy and Technology

E-mail: v.i.tatarenko@ssga.ru, o.v.usikova@yandex.ru

Statistical relationship between a number of injured by accidents at work and amount of money spent on arrangements for improvement of working conditions and labour safety, as well as average number of listed employees in construction in Novosibirsk Region and in the Russian Federation is defined. Correlation between a number of accidents and financing of labour safety arrangement is estimated on the basis of the found dependence. Regression analysis is carried out using the least square method, with the following autocorrelation and multicollinearity test. Several multiple regression equations are found as the result of study of data for Novosibirsk Region, selection of model that described the suggested parameters best is proved, forecast is made. Multiple linear regression equation for injury rate in the Russian Federation is found, its parameters are checked, projected value of number of injured is calculated. Relationship between the factors under study is defined and suggestion towards the following use of the research results is made.

Key words: correlation, accident, regression, model, labour safety, construction.

Как и любой функциональный элемент государства, охрана труда является сложной и динамично развивающейся социально значимой системой. Следовательно, она как система нуждается в глубоком многофакторном анализе ее составляющих и учете разнонаправленных связей с другими сферами деятельности и науки. В свою очередь, нами сделана попытка использования эконометрических методов и моделей для поиска решений одной из главных задач в системе охраны труда: снижения производственного травматизма и обоснования финансового обеспечения вложений в мероприятия по улучшению условий и охране труда.

В ранее опубликованной нами статье [6] было представлено теоретическое описание эконометрической модели для оценки уровня корреляции между уровнем профессионального риска на производстве и размером финансирования мероприятий по охране труда, а также количеством работающих, но не были приведены результаты расчета по данной модели. Целью данного исследования является применение эконометрических моделей в практическом аспекте охраны труда для обоснования работодателям связи финансовых вложений в мероприятия по улучшению условий и охране труда и уровня производственного травматизма. В статье приводятся результаты статистической оценки зависимости показателей травматизма в строительстве, проведенной по имеющимся в распоряжении авторов статистическим материалам: данные о численности пострадавших от несчастных случаев на производстве с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более, а также со смертельным исходом, без деления по половому признаку и возрасту; среднесписочной численности работающих; сумме израсходованных средств на мероприятия по охране труда за год в строительстве по Новосибирской области и Российской Федерации в целом. Диапазон данных для выборки с 2000 по 2012 г. Выбор анализируемого вида деятельности – строительство был обусловлен тем, что это самый динамично развивающийся в Новосибирской области вид деятельности (на 2012 г. в области действует 5677 строительных организаций), а также наиболее травмоопасный в Российской Федерации. В модели использованы совокупные данные с 2000 по 2003 г. по строительной отрасли, с 2004 по 2012 г. по строительной деятельности, без акцента на конкретные организации [4, 5]. Показатель профессионального риска, который предполагалось использовать в теоретической модели, заменен на количество пострадавших от несчастных случаев на производстве, так как уровень профессионального риска в целом совокупно по виду деятельности определить практически невозможно (для этого нужно исследовать отдельно взятые организации).

В связи с необходимостью оценки влияния на уровень производственного травматизма таких составляющих производственной среды и трудового процесса, как среднесписочная численность работающих, априори являющаяся определяющим фактором, и объем израсходованных на мероприятия по улучшению условий и охраны труда средств как наиболее важный, но ранее не исследованный фактор, для проверки статистической зависимости между факторами была сформулирована множественная регрессионная модель.

Регрессионный анализ проведен с доверительной надежностью 0,95.

Параметры модели:

Y – количество пострадавших от несчастных случаев на производстве, человек (результативный признак);

X_1 – среднесписочная численность работающих в i -м году;

X_2 – израсходовано на мероприятия по охране труда в i -м году, тыс. руб.

Представленные расчеты выполнены с использованием вычислительного процессора Microsoft Excel. Статистические данные по Новосибирской области приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные данные по Новосибирской области

Год	Y	X_1	X_2
2000	191	35228	21605,1
2001	171	34060	28054,6
2002	198	31900	41220,5
2003	171	31106	40933,9
2004	142	24250	34272,9
2005	121	24361	57127,9
2006	92	23769	70758
2007	82	25953	73185,4
2008	82	26712	80485,2
2009	58	23569	58447,13
2010	81	25365	78004,5
2011	91	26524	94907,5
2012	55	22040	100563,9

В предложенную модель преднамеренно не был введен фактор времени (t), однако его влияние было проанализировано. Временной фактор, безусловно, имеет место быть в системе охраны труда, а в частности в рассматриваемой ситуации, но его достаточно сложно оценить и выразить в виде количественной характеристики. Введение t в виде последовательности (1, 2...13 или –6, –5...6) не дает положительный результат, а только «ломает» модель и ее экономическую интерпретацию. Значение временного тренда можно отразить на диаграмме зависимости количества пострадавших от несчастных случаев на производстве (рис. 1); объема финансирования и среднесписочной численности от конкретного года (рис. 2).

Количество пострадавших на производстве имеет тенденцию снижения от года к году, исключением является период 2010–2011 гг., в это время происходил подъем в экономическом состоянии НСО, что обусловило высокий темп развития строительства. Среднесписочная численность колеблется в пределах 5 тыс. человек в зависимости от года в связи с экономической обстановкой в стране (в области), демографической ситуацией – количество населения в активном трудоспособном возрасте.

Объем финансирования наоборот практически с каждым годом демонстрирует положительный прирост. Это, несомненно, связано с изменениями, произошедшими в трудовом законодательстве за последние 8 лет: был существенно пересмотрен раздел X Трудового кодекса РФ. Также

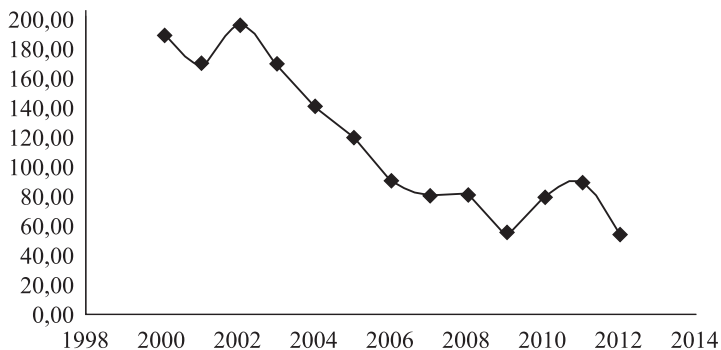


Рис. 1. Количество пострадавших от несчастных случаев на производстве (2000–2012 гг.)

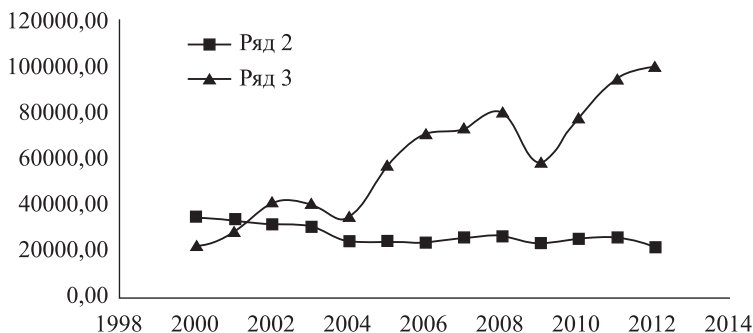


Рис. 2. Динамика объема финансирования мероприятий по охране труда и среднесписочной численности

в последнее время Минсоцразвития, а ныне Минтруда, было выработано большое количество программ по улучшению условий и охраны труда, в том числе направленных на создание механизмов экономической заинтересованности работодателей и пропаганду безопасных условий труда.

В связи с отраженной выше точкой зрения относительно временного фактора считаем, что это предмет отдельного анализа и дальнейшего исследования.

Для исследования на наиболее подходящую функцию, адекватно описывающую зависимость результирующего фактора от объясняющих переменных из предложенных в эконометрике моделей множественной регрессии, нами были выбраны линейная и нелинейные зависимости: степенная, гиперболическая и полином второй степени. Результаты проведенного анализа приведены в табл. 2.

В результате исследования было установлено, что все рассмотренные модели имеют примерно одинаковые расчетные характеристики, хотя большее значение критерия Фишера и коэффициента детерминации имеет линейная модель, а также она имеет наименьшую относительную ошибку. Но проверка на значимость параметров уравнения выявила, что все три параметра значимы только у гиперболической модели множественной регрессии, следовательно, и в данном случае предпочтительнее использовать ее для дальнейшего анализа и прогноза. Однако в ходе интерпретации

Таблица 2

Сводная таблица параметров исследуемых уравнений

Модель	Параметры			
	R^2	F – критерий Фишера	Коэффициент корреляции $r_{xy1}, r_{xy2}, r_{x1x2}$	Средняя относительная ошибка $E_{отн}, \%$
Линейная: $Y = 16,933 + 0,00589X_1 - 0,000993X_2$	0,85	28,4	0,85 –0,85 –0,71	16,3
Степенная: $Y = -1,486 \cdot X_1^{1,288} \cdot X_2^{-0,462}$	0,79	18,62	0,82 –0,84 –0,75	17,3
Гиперболическая: $Y = 255,32 - \frac{1}{X_1} \cdot 4798416,26 + \frac{1}{X_2} \cdot 205,3802,2$	0,80	20,18	–0,84 0,83 –0,75	17,2
Полином второй степени: $Y = -35,85 + 0,0067X_1 - 0,0000000071X_2^2$	0,84	26,4	0,85 –0,80 –0,64	17,9

результатов, полученных в гиперболической модели, возникло существенное логическое противоречие: при уменьшении количества работающих и объема финансирования наблюдается рост количества пострадавших от несчастных случаев на производстве. А при $X_1 \rightarrow 0, Y \rightarrow \infty$ вообще не имеет смысла. Соответственно данная модель не может быть использована для данного исследования. Следующая по значимости исследования является линейная модель множественной регрессии, у которой не значим свободный член уравнения, хотя в целом это не влияет на другие ее параметры и интерпретацию.

Для большой убедительности модели была проведена проверка ее на автокорреляцию и мультиколлинеарность, которые свойственны регрессионным моделям, по мнению И.И. Елисеевой [1] и А.И. Орлова [2], так как там имеется случайная величина.

Наличие или отсутствие автокорреляции проверено на уровне значимости $\alpha = 0,01$, полагая, что этот уровень значимости достаточен для проведения анализа на наличие автокорреляции. Линейная модель проверена с помощью критерия Дарбина–Уотсона, d . Полученное расчетное значение $d = 1,325$ попадает в интервал $[1,261; 2,739]$, зона отсутствия автокорреляции.

Исследование регрессионной модели на мультиколлинеарность дало следующие результаты. С помощью способа использования парного коэффициента корреляции, равного $r_{x1x2} = -0,71$, было получено $3,3439 > 2,202$, следовательно, коэффициент корреляции между переменными значим, делаем вывод: мультиколлинеарность присутствует.

Способ второй – с построением корреляционной матрицы $\tilde{R}$. Определитель матрицы $\tilde{R} = 0,4959$, в свою очередь $X^2 = 9,92$, статистика $X^2_{0,95}(1) = 3,841$. Исходя из неравенства $9,92 > 3,841$ делается вывод о том, что мультиколлинеарность в модели присутствует.

Наличие мультиколлинеарности говорит о присутствии достаточно сильной линейной связи между объясняющими переменными X_1 и X_2 , однако, в реальности переменные в системе охраны труда не зависимы друг от друга. Размер финансирования мероприятий по улучшению условий и охране труда осуществляется в соответствии со ст. 226 ТК РФ, в которой говорится о зависимости финансирования от суммы затрат на производство продукции, товаров и услуг, и никак не связан со среднесписочной численностью работников. Поэтому в данном случае считаем наличие мультиколлинеарности незначительным фактором, не влекущим за собой последствий в интерпретации модели.

Итак в результате исследования зависимости количества пострадавших от несчастных случаев на производстве от среднесписочной численности работающих и объема израсходованных денежных средств на мероприятия по охране труда в строительстве получено уравнение множественной линейной регрессии $Y = 16,933 + 0,00589X_1 - 0,000993X_2$. Величина $a_1 = 0,00589$ свидетельствует о том, что при увеличении среднесписочной численности на одного человека и неизменном объеме израсходованных средств на мероприятия по охране труда следует ожидать увеличение количества пострадавших человек от несчастных случаев на производстве на 0,00589 человек. Коэффициент $a_2 = -0,000993$ показывает, что при увеличении объема денежных средств на мероприятия по охране труда на 1 тыс. руб. и неизменной среднесписочной численности работающих следует ожидать снижения количества пострадавших от несчастных случаев на производстве на 0,000993 человека. Так как коэффициент детерминации $R^2 = 0,85$, то вариация количества пострадавших от несчастных случаев на производстве на 85 % объясняется вариацией среднесписочной численности и объемом израсходованных средств, следовательно, уравнение достаточно хорошо описывает имеющиеся данные. Одним из негативных моментов является то, что величина средней относительной ошибки достаточно существенна.

По данным Росстата величина инфляции в 2012 г. составила 6,6 %, следовательно, прогнозируемый размер финансирования составит 107201,1 тыс. руб. В среднем за 13 лет среднесписочная численность снижалась на 3,4 %, соответственно прогнозируемая численность работающих в строительстве составит 21290,64. Прогнозное значение уровня производственного травматизма будет равно 36 пострадавшим на производстве, а с учетом относительной ошибки ± 6 человек. В ходе анализа выявились некоторые расхождения в исследуемых статистических данных, так, например, имеется расхождение в среднесписочной численности и размере финансирования за два исследуемых года. Прогноз по реальным статистическим данным за 2013 г. 23407 человек и 100509,3 тыс. руб. показал результат 55 пострадавших, с учетом ошибки ± 9 человек. В действительности по данным Новосибирскстата в 2013 г. в строительстве пострадало от несчастных случаев на производстве 59 человек. В дальнейших исследованиях будут учтены расхождения и пересмотрено линейное уравнение множественной регрессии.

Предложенная эконометрическая модель апробирована на статистических данных по травматизму в строительстве в целом по Российской Федерации за период с 2000 по 2012 г. [5]. Было получено уравнение линейной

множественной регрессии $Y = -5144,94 + 0,0079X_1 - 0,00028X_2$. Уравнение имеет критерий Фишера, равный 225,5, и коэффициент детерминации $R^2 = 0,978$, все параметры уравнения значимы, что свидетельствует об адекватности построенной зависимости и о том, что хорошо объясняются выбранные данные. Средняя относительная ошибка отклонения равна 5,5 % – высокий уровень достоверности результатов. Автокорреляция отсутствует, но выявлена мультиколлинеарность между объясняющими переменными, как и в данных для Новосибирской области. Позиция относительно мультиколлинеарности переменных остается такой же, что и выше. Прогноз с помощью полученной модели на 2013 г. показал, что при прогнозируемом $X_1 = 1516061,01$ (среднесписочная численность в среднем за 13 лет снизилась на 2,6 %) и $X_2 = 9971354,31$ с учетом уровня инфляции, Y с учетом средней ошибки будет равен 4054 ± 223 человека. Расчет с реальными данными 1488720 работающих и 10925550,8 тыс. руб. показал количество пострадавших, равное 3570 ± 196 . По данным Росстата в 2013 г. в строительстве пострадало 3400 человек. Хотя прогнозные значения расходятся с реальными данными, но все же достаточно близки. Исходя из этого можно планировать мероприятия по улучшению условий и охраны труда, а в особенности проведение априорного анализа травматизма и организацию профилактики и пропаганды, чтобы избежать развития худшего прогноза.

В ходе регрессионного анализа установлена зависимость между количеством пострадавших и объемом израсходованных денежных средств и среднесписочной численностью работающих как в Новосибирской области, так и в Российской Федерации. Полученные уравнения проверены на наличие автокорреляции – установлено ее отсутствие, а также выявлена в двух случаях мультиколлинеарность, по поводу которой высказана авторская позиция. Следовательно, можно констатировать: используемая модель полностью адекватна и достаточно хорошо описывает выбранные параметры, значит, гипотеза о наличии зависимости между уровнем производственного травматизма в строительстве и суммой израсходованных средств на мероприятия по улучшению условий и охраны труда может считаться доказанной. С известной степенью достоверности можно утверждать, что предлагаемая модель с учетом динамики среднесписочной численности работающих, уровня инфляции, ценовой политики на средства индивидуальной и коллективной защиты в регионе, а также состояния финансирования мероприятий по улучшению условий и охраны труда позволяет прогнозировать количество пострадавших на производстве в любом другом виде деятельности.

Проведенное исследование, по нашему мнению, может иметь теоретическую значимость для системы охраны труда, так как на современном этапе все большее внимание исследователей привлекает попытка связать экономические, эконометрические, статистические модели с процессами, происходящими в системе: изменение динамики производственного травматизма и профзаболеваемости; рост численности занятых во вредных и тяжелых условиях труда; изменение производительности труда под влиянием неблагоприятных условий и охраны труда; потери ВВП страны, связанные с компенсационными выплатами и т.д. Данные тенденции, на наш взгляд, связаны с необходимостью создания наглядной доказательной базы

для обоснования руководителям выгоды финансовых вложений в охрану труда. Это в свою очередь положительно может сказаться на производительности труда не только в рамках одной организации, но в целом по стране, а также на конкурентоспособности отечественных фирм и ВВП страны.

Литература

1. *Елисеева И.И.* Эконометрика: учебник / под ред. И.И. Елисеевой. М.: Финансы и статистика, 2003. 345 с.
2. *Орлов А.И.* Эконометрика: учебник. М.: Экзамен, 2002. 576 с.
3. Практикум по эконометрике: учеб. пособие / под ред. И.И. Елисеевой. М.: Финансы и статистика, 2003. 192 с.
4. Статистические бюллетени о травматизме от несчастных случаев на производстве в городах и районах Новосибирской области за период с 2000 по 2012 год. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по НСО.
5. Статистические данные по травматизму в строительстве в РФ за период с 2000 по 2013 год. Официальный ответ Федеральной службы государственной статистики.
6. *Усикова О.В., Татаренко В.И.* Использование эконометрических методов и моделей для статистической оценки зависимости уровня профессионального риска на производстве от размера финансирования охраны труда и количества работающих // Совершенствование системы управления, предотвращения и демпфирования последствий чрезвычайных ситуаций регионов и проблемы безопасности жизнедеятельности населения: сб. матер. Международного научного конгресса «СИББЕЗОПАСНОСТЬ-СПАССИВ-2012» (25–27 сентября 2012 г., Новосибирск). Новосибирск: СГГА, 2012. С. 131–135.

Bibliography

1. *Eliseeva I.I.* Jekonometrika: uchebnik / pod red. I.I. Eliseevoj. M.: Finansy i statistika, 2003. 345 p.
2. *Orlov A.I.* Jekonometrika: uchebnik. M.: Jekzamen, 2002. 576 p.
3. Praktikum po jekonometrike: ucheb. posobie / pod red. I.I. Eliseevoj. M.: Finansy i statistika, 2003. 192 p.
4. Statisticheskie bjulleteni o travmatizme ot neschastnyh sluchaev na proizvodstve v gorodah i rajonah Novosibirskoj oblasti za period s 2000 po 2012 god. Territorial'nyj organ Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po NSO.
5. Statisticheskie dannye po travmatizmu v stroitel'stve v RF za period s 2000 po 2013 god. Oficial'nyj otvet Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki.
6. *Usikova O.V., Tatarenko V.I.* Ispol'zovanie jekonometricheskikh metodov i modelej dlja statisticheskoj ocenki zavisimosti urovnja professional'nogo riska na proizvodstve ot razmera finansirovanija ohrany truda i kolichestva rabotajushhiih // Sovershenstvovanie sistemy upravlenija, predotvrashhenija i dempfirovanija posledstvij chrezvychajnyh situacij regionov i problemy bezopasnosti zhiznedejatel'nosti naselenija: sb. mater. Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa «SIBBEZOPASNOST'-SPASSIB-2012» (25–27 sentjabrja 2012 g., Novosibirsk). Novosibirsk: SGGA, 2012. P. 131–135.