

УДК 51–74

UDC 51–74

**ПОДХОДЫ К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ  
МОДЕЛИРОВАНИЮ И  
ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ  
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО  
ТРАВМАТИЗМА**

**APPROACHES TO MATHEMATICAL  
MODELING AND FORECASTING OF  
OCCUPATIONAL INJURY PROCESSES**

*Т. А. Ерёмкина, Е. В. Щеккина*

*T. A. Eremina, E. V. Shchekina*

Донской государственной технической  
университет, Ростов-на-Дону, Российская  
Федерация

Don State Technical University  
Rostov-on-Don, Russian Federation

[tatiana.eremina1994@yandex.ru](mailto:tatiana.eremina1994@yandex.ru)  
[n1923@donpac.ru](mailto:n1923@donpac.ru)

[tatiana.eremina1994@yandex.ru](mailto:tatiana.eremina1994@yandex.ru)  
[n1923@donpac.ru](mailto:n1923@donpac.ru)

Проведен анализ литературы по прогнозированию и моделированию производственного травматизма. Данное исследование демонстрирует множество различных способов моделирования и прогнозирования процессов производственного травматизма. Выяснено, что попытки прогнозирования травматизма были предприняты еще начиная с 70-ых годов XX века. В работе рассмотрены примеры использования метода априорного ранжирования факторов, методы корреляционного, многофакторного дисперсионного и регрессионного анализов, теорий массового обслуживания, случайных стационарных процессов, Байеса, нечетких множеств и другие. Показано, что проблемы моделирования и прогнозирования подобных процессов актуальны не только для промышленности, но и для медицины и спорта. Один из названных методов предложено применить к построению математической модели для ООО «Ростовский прессово-раскройный завод» (РПРЗ).

The article analyzes the literature on forecasting and modeling of occupational injuries. This study demonstrates many different ways of modeling and forecasting of occupational injury processes. It was found out that the attempts to forecast injuries have been made since the 1970s. This work considers the examples of using the method of a priori factor ranking, methods of correlation, multifactorial dispersion and regression analysis, theory of queues, random stationary processes theory, Bayes theory, fuzzy sets theory and others. It is shown that the problems of modeling and forecasting such processes are relevant not only for industry, but also for medicine and sports. One of the methods mentioned by the authors is supposed to be applied to the construction of a mathematical model for Rostov pressing-cutting plant «RPRZ».

**Ключевые слова:** производственный травматизм, несчастный случай, математическое моделирование, прогнозирование травматизма.

**Keywords:** Industrial injuries, accident, mathematical modeling, injury forecasting

**Введение.** Целью данной работы является обоснование выбора метода математического моделирования и прогнозирования случаев производственного травматизма для ООО «Ростовский

прессово-раскройной завод». Для этого авторами проведен анализ и обобщение работ отечественных и зарубежных ученых по данной проблематике.

Первоначально в ООО «РПРЗ» анализ производственного травматизма (ПТ) был проведен групповым методом за период с 2009 по 2014 годы. Сформированы таблицы и построены графики, диаграммы, которые наглядно показывают процентное распределение несчастных случаев по различным факторам (пол, возраст, стаж работы, профессии пострадавших, виды травм, их основные причины и др.) [1].

В целях снижения уровня ПТ и улучшения условий труда работающих на ООО «РПРЗ», необходимо было подобрать точную методику прогнозирования возможного числа несчастных случаев. Для этого был проведен анализ существующих работ по данной проблематике.

### **Теоретическая часть.**

К основным методам прогнозирования несчастных случаев относят:

- статистические методы;
- экспертные оценки;
- методы моделирования;
- интуитивные.

Попытки сделать прогноз уровня ПТ были начаты в нашей стране в 70-ые годы. В последующие годы был опубликован ряд работ, где использовались совершенно разные подходы к решению этой проблемы. Например, предлагалось использовать метод априорного ранжирования факторов [2], уравнения множественной нелинейной регрессии [3], метод корреляционного, многофакторного дисперсионного и регрессионного анализов [4], теорию массового обслуживания [5], теоремы о сложении и умножении вероятностей, понятие полной вероятности и теорему гипотез (формула Бейеса) [5] и даже теорию нечетких множеств [6]. В работе [7] для прогнозирования ПТ использованы методы математического прогнозирования по динамическим рядам в сочетании с методом экспертных оценок.

Иной подход был использован в работах [8,9]. Было высказано предположение, что изменение показателей травматизма во времени представляет собой случайные события с детерминированной составляющей. Это дало возможность использовать для построения моделей ПТ основные положения теории вероятности и методов математической статистики при обработке фактического материала. Для анализа исходных статистических баз данных о несчастных случаях в машиностроении и строительстве с последующим построением математической модели и прогнозированием ожидаемого уровня ПТ впервые была использована теория случайных стационарных функций.

Сходный подход был в дальнейшем применен в работе [10], где автор использовал метод прогнозирования на основе компонентного анализа временных рядов с моделированием стационарного случайного процесса методом авторегрессии — скользящего среднего.

В дальнейшем метод прогнозирования риска травматизма на основе статистических данных показал, что в организациях агропромышленного комплекса Самарской области управление риском неэффективно и планирование деятельности нерационально [11]. Для улучшения ситуации требуется создание целого комплекса методик для разработки выбора общей стратегии деятельности и конкретных мероприятий по управлению охраной труда. Разработанные методики ранжирования направлений и организационно-технических мероприятий, анализа мероприятий по критерию дублирования задач, обработка результатов экспертных оценок, текущей оценки организационно-технических мероприятий позволили формализовать процесс

планирования деятельности по охране труда, оптимизировать выбор направлений и мероприятий по охране труда с учетом реальных финансовых возможностей, важности и времени их исполнения. Это позволило исключить возможные повторы и оценить методы решения задач в целом.

Краткосрочный прогноз производственного травматизма на 5 лет (2005–2009 годы) представлен на примере Дальневосточной железной дороги [12]. Авторы используют уже зарекомендовавший себя корреляционный анализ, находят уравнение регрессии для контингента работников, строят прогнозируемые на перспективу верхнюю и нижнюю границы интервала возможных значений контингента, далее строят диаграммы зависимостей контингента по годам. Данный метод, с вероятностью прогноза 0,95, показывает, что общий травматизм имеет тенденцию к снижению, однако необходимы профилактические мероприятия.

Еще одна попытка практически в те же годы разработать методику прогнозирования производственного травматизма на железнодорожном транспорте предпринята в диссертации [13]. Автор рассматривает травматизм в АО «Национальная компания Казахстан Темир Жолы» на железнодорожном транспорте с 2005 по 2008 годы. Для прогнозирования ПТ разработан алгоритм его расчета, а в качестве основных критериев взяты частота и тяжесть несчастных случаев. Предлагаемые критерии оцениваются уравнением Байеса и выражают плотность вероятности совместного распределения травматизма и потерь. В соответствии с законом условной вероятности, параметры распределения характеризуются условиями, выражающими прогнозируемую частоту и тяжесть травмирования. В результате автором была разработана методика по снижению уровня ПТ на железнодорожном транспорте, определяющая надежность его работы и вероятность травмирования.

Применение теории Байеса довольно популярно для анализа различных факторов, влияющих на риск и на уровень производственного, бытового или спортивного травматизма.

Для прогнозирования риска травматизма в статье [14] была предложена методика из семи психологических тестов. Посредством этой методики проведено тестирование нескольких десятков больных травматологического отделения и такого же количества здоровых людей. Построены соответствующие гистограммы, на основе которых определены условные априорные риски. Согласно критерию Байеса, определен апостериорный риск травматизма. Предложена агрегирующая формула апостериорного риска по всем тестовым методикам.

Применение Байесовских сетей представлено и в работе [15] для оценки риска травматизма при занятии пауэрлифтингом. Работа проведена на основе анкетирования спортсменов, данные которых разбили на блоки — возраст, опыт, спортивная квалификация и другие. Затем в системе Agena Risk построена полная сеть модели, позволяющая узнать вероятность получения травмы и ее причину.

Теория информационных цепей была использована в работе [16]. Авторы рассматривают рабочий коллектив как модель «вход-выход». На входе в систему действуют факторы производственной среды, обучающая информация (инструктажи) и защитные средства, на выходе — производственный травматизм и производственно-обусловленная заболеваемость (ПОЗ). Выдвигается гипотеза, что, изменяя параметры одного из входных данных, в частности обучающей информации, можно добиться заметного снижения ПТ и ПОЗ. Для дальнейших исследований, связанных с выявлением оптимальной частоты проведения инструктажей, при которых уровни ПТ и ПОЗ будут минимальными, авторы предполагают использовать математический аппарат теории нечетких множеств.

Совершенно другой подход использован в работе [17], предлагающей применение метода вейвлет и фрактального анализа. В статье представлена методика, в основе которой лежит модель прогнозирования риска ПТ именно с помощью этого метода. Вейвлет-анализ применяется для анализа сложных данных и позволяет выявить различные свойства сложного сигнала, невидимые при обычном представлении в режиме реального времени. По величине фрактальной размерности, отражающей количество несчастных случаев в исследуемом промежутке, можно судить о степени хаотичности самого процесса. Авторы проанализировали статистические данные по несчастным случаям, которые происходили в г. Комсомольске-на-Амуре в период с 2000 по 2007 годы. Сама методика предполагает последовательную реализацию пяти этапов исследования, которая включает: формирование ряда значений, отражающих изменения количества несчастных случаев в исследуемом интервале времени; комплексную обработку временного ряда названным методом; интерпретацию полученных результатов; выделение наименее устойчивых факторов, стремящихся к нестабильному состоянию на основе которых можно выделить группы, наиболее подверженные риску, и составление прогнозных оценок. Последним этапом является разработка необходимых мероприятий.

В статье [18] авторы, опираясь на журналы регистрации несчастных случаев в ОАО «Амурметалл» за десятилетний период с 1999 по 2008 годы, дают краткосрочный прогноз травматизма на 2009 год по линии тренда, которая строилась тремя способами — линейным, логарифмическим и экспоненциальным. В результате более достоверным оказался линейный тренд, при котором погрешность составила 23%. Также в статье авторы предлагают прогнозировать индивидуальный риск травматизма, исходя из анализа рисков травматизма той группы, к которой относится работник.

В работе [19] представлено математическое прогнозирование уровня ПТ для ООО «ПК НЭВЗ». Авторы использовали метод экстраполяции с помощью MathCAD. Предварительно авторы просчитали показатели частоты, тяжести и летальности ПТ за период с 1946 по 2013 годы. Полученные данные были импортированы в MathCAD, произведены этапы отладки, рассчитана погрешность, найден доверительный интервал. В результате проделанной работы был составлен прогноз уровня ПТ на период с 2014 года по 2017 годы.

Функция экстраполяции в MathCAD также использовались в работе [20] при прогнозировании ПТ в горнодобывающей промышленности в республике Зимбабве. Авторы провели расчеты на основе статистики по взрывам сосудов под давлением. При отладке прогноза использовался период времени с накопленной статистикой с 2010 по 2014 годы. В результате погрешность прогноза составила не более 10 %, что подтверждает эффективность и достоверность данного метода.

**Заключение.** Проведенный анализ работ показывает различные подходы к прогнозированию ПТ, которые могут быть применены не только в промышленности, но и в медицине и спорте. Несомненно, у каждого из перечисленных методов есть свои достоинства. Авторами при составлении прогноза уровня ПТ для ООО «РПРЗ» использован метод экстраполяции, хорошо зарекомендовавший себя при применении к обширным базам данным за длительный промежуток времени. Несомненным достоинством данного метода является малая погрешность прогноза. В результате вполне вероятным является получение достоверного прогноза, который, в свою очередь, позволит разработать эффективные профилактические мероприятия по снижению уровня производственного травматизма.

**Библиографический список.**

1. Ерёмина, Т. А. Оценка состояния производственного травматизма на примере ООО «Ростовского прессово-раскройного завода» / Т. А. Ерёмина, Ю. А. Чепцова // Юбилейная конф. студ. и молодых ученых, посв. 85-летию ДГТУ : сб. докладов науч.-техн. конференции. — Ростов-на-Дону, 2015. — С.585–600.
2. Кузьмин, А. П. Применение метода ранговой корреляции для оценки причин производственного травматизма / А. П. Кузьмин, В. И. Семенов, Ю. Г. Шестаков // Вестник машиностроения. — 1974. — № 8. — С.78–81.
3. Попадейкин, В. В. К вопросу моделирования при расследовании несчастных случаев / В. В. Попадейкин // Охрана труда в промышленности : сб. науч. работ институтов охраны труда ВЦСПС. — Москва, 1986. — С.63–66.
4. Хор, Я. М. Исследование влияния факторов, возникающих в системах «человек - среда - машина», на производственный травматизм / Я. М. Хор, Н. М. Кивилева, Н. И. Тихомирова // НТП и охрана труда : сб. науч. работ институтов охраны труда ВЦСПС. — Москва, 1989. — С.7–12.
5. Челидзе, М. Г. Задачи и методы математического моделирования в области охраны труда / М. Г. Челидзе, Г. Г. Кемашвили // Безопасность труда в промышленности: сб. науч. работ институтов охраны труда ВЦСПС. — Москва, 1983. — С.6–11.
6. Иоффе, В. М. О применении метода нечетких множеств в исследованиях по охране труда / В. М. Иоффе, М. А. Лобова // Проблемы охраны труда и их решение : сб. науч. работ институтов охраны труда ВЦСПС. — Москва, 1983. — С.72–75.
7. Власов, А. Ф. Итоги и пути дальнейшего снижения показателей производственного травматизма / А. Ф. Власов // Технический прогресс и охрана труда: сб. науч. работ институтов охраны труда ВЦСПС. — Москва, 1975. — С.177–183.
8. Щекина, Е. В. Применение теории случайных стационарных функций для математического моделирования в исследованиях производственного травматизма / Е. В. Щекина [и др.] // Техносферная безопасность, надежность, качество, ресурсосбережение: материалы Всерос. науч.-практ. конф. — Ростов-на-Дону–Шепси, 2005. — С.178–183.
9. Щекина, Е. В. Анализ производственного травматизма с учетом психофизиологических характеристик человека и разработка основ информационной базы для повышения безопасности труда на промышленных предприятиях: дис. ... канд. техн. наук / Е. В. Щекина. — Ростов-на-Дону, 2000г. — 185 с.
10. Сафонов, Я. С. Методика прогнозирования риска травматизма / Я. С. Сафонов // Техносферная безопасность, надежность, качество, ресурсосбережение : мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. — Ростов-на-Дону–Шепси, 2006. — С. 141–145.
11. Сафонов, Я. С. Оптимизация выбора организационно-технических мероприятий по охране труда в АПК на примере Самарской области : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Я. С. Сафонов. — Самара, 2006. — 13с.
12. Тесленко, И. М. Повышение безопасности труда на железнодорожном транспорте: на примере Дальневосточной железной дороги : автореф. дис. ... канд. техн. наук / И. М. Тесленко. — Владивосток, 2005. — 13с.
13. Каляяскарова, А. Ж. Разработка методики и прогнозирования производственного травматизма на железнодорожном транспорте : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. Ж. Каляяскарова / — Алматы, 2010. — 15 с.

14. Шкатова, Е. С. Прогнозирование риска травматизма на основе Байесовского подхода / Е.С. Шкатова // Медико-экологические информационные технологии-2016 : сб. докладов XIX Междунар. науч.-техн. конф. — Курск, 2016. — С.136–139.

15. Тарасова, Ю. И. Анализ риска травм в пауэрлифтинге с применением Байесовских сетей доверия / Ю. И. Тарасова // «Мой выбор – наука!» : XLIII науч. конф. студентов, магистр., аспирант. и учащихся лицейных классов. — Барнаул, 2016 г. — С.15–23.

16. Юсупов, Р. Х. Прогнозирование состояния производственного травматизма и производственно-обусловленной заболеваемости рабочих коллективов на основе теории информационных цепей. / Р. Х Юсупов, Ю. Г. Горшков, А. В. Зайнишев // Вестник ЮУрГУ. Серия : Энергетика. — 2007. — № 20 (92) — С.54–60.

17. Муллер, Н. В. Прогнозирование риска производственного травматизма методом Вейвлет и фрактального анализа / Н. В. Муллер // Вестник САМГУ. Естественно-научная серия. — 2008. — № 2 (68). — С.146–154.

18. Степанова, И. П. Анализ и прогнозирование травматизма на ОАО «Амурметалл» математико-статистическими методами / И. П. Степанова, И. Д. Осколова // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре госуд. техн. ун-та. — 2011. — Том 1, №7. — С.104–117.

19. Щекина, Е. В. Использование метода математического моделирования для прогнозирования уровня производственного травматизма в ООО «ПК «НЭВЗ» / Е. В. Щекина, Р. Р. Лазуренко // Инновационные технологии в машиностроении и металлургии : сб. статей VII науч.-практич. Конференции. — Ростов-на-Дону, 2015, С.384–398.

20. Булыгин, Ю. И. Обоснование метода математического прогнозирования несчастных случаев в горнодобывающей промышленности республики Зимбабве / Ю. И. Булыгин [и др.] // Аспирант. — 2016. — №8(1). — С. 159–164.