

УДК 519.87:004.65:331.46  
DOI 10.23947/2541-9129-2018-3-4-2-17

## АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ И ТРАВМАТИЗМА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРУЗОПОДЪЁМНЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ В РОССИИ

*Ю. И. Булыгин, А. А. Пантузенко,  
Р. Р. Лазуренко, А. С. Газгиреев*

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

[bulyur\\_rostov@mail.ru](mailto:bulyur_rostov@mail.ru)  
[lokimen7777@yandex.ru](mailto:lokimen7777@yandex.ru)  
[lirtokas@mail.ru](mailto:lirtokas@mail.ru)  
[asgaz96@mail.ru](mailto:asgaz96@mail.ru)

Рассматривается проблема травматизма и аварийности при эксплуатации грузоподъемных машин и механизмов в России. Приводятся статистика несчастных случаев и смертельных травм на подъемных сооружениях, а также данные по аварийности грузоподъемных машин (ГПМ). В процессе анализа данных использовались алгоритмы интерполяции, заложенные в математическое программное обеспечение. В результате моделирования прогноза на ЭВМ определяются интервалы времени, дающие более точные данные в отношении динамики эксплуатации автокранов с истекшим сроком службы и коэффициента смертельного травматизма на 1000 кранов. Также анализируются перспективные методы прогноза для дальнейшей научной работы.

**Ключевые слова:** анализ, прогноз, травматизм, грузоподъемные машины и сооружения, экстраполяция, MathCAD.

**Введение.** В нашей стране большое внимание уделяется вопросам промышленной безопасности: в 1997 году принят закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», утверждены нормы и правила в области промышленной безопасности [1, 2]. В настоящее время имеется достаточно большое количество научных работ, посвященных анализу статистики аварий и

UDC 621.928.93  
DOI 10.23947/2541-9129-2018-3-4-2-17

## ANALYSIS OF ACCIDENTS AND INJURIES IN THE OPERATION OF HOISTING MACHINERY IN RUSSIA

*Yu.I. Bulygin, A. A. Pantuzenko,  
R. R. Lazurenko, A. S. Gazgireev*

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

[bulyur\\_rostov@mail.ru](mailto:bulyur_rostov@mail.ru)  
[lokimen7777@yandex.ru](mailto:lokimen7777@yandex.ru)  
[lirtokas@mail.ru](mailto:lirtokas@mail.ru)  
[asgaz96@mail.ru](mailto:asgaz96@mail.ru)

The article deals with the issues of injuries and accidents in the operation of hoisting machinery in Russia. The paper provides the statistics on accidents and fatal injuries on hoisting devices, as well as data on the accident rate of hoisting machines (HM). In the process of data analysis, interpolation algorithms embedded in the mathematical software are used. As a result of computer simulation of the prediction process, time intervals are determined, which give more accurate results of the prediction in relation to the dynamics of operation of autocranes with the expired service life and the coefficient of fatal injuries per 1000 cranes. In addition, the analysis of perspective prediction methods for further scientific work is given.

**Key words:** analysis, prediction, injuries, hoisting machinery and constructions, extrapolate, MathCAD

**Introduction.** In our country, much attention is paid to industrial safety: the law "On industrial safety of hazardous production facilities" was introduced in 1997, the rules and regulations in the field of industrial safety were approved [1, 2]. Currently, there is a large number of scientific papers, in Russia as well, devoted to the analysis of emergencies and accidents statistics

несчастных случаев при эксплуатации различных ГПМ, в том числе и в России [3, 4]. Их авторы предлагают использовать математическое моделирование как инструмент создания адекватной модели для прогнозирования числа аварий и несчастных случаев.

Однако практически нет исследований, где были бы найдены корреляционные зависимости, с помощью которых по критерию Пирсона (коэффициент корреляции) можно было бы установить причинно-следственные связи с авариями и травматизмом.

Создание математической модели, с помощью которой можно осуществить прогнозирование аварийности и несчастных случаев, позволит контролирующему органу (Ростехнадзору) разрабатывать и осуществлять меры в области обеспечения промышленной безопасности для предотвращения аварий и несчастных случаев на предприятиях, эксплуатирующих ГПМ. Задача, стоящая перед авторами данного исследования — рассмотреть различные методы анализа и прогноза аварийности и производственного травматизма, представить используемое программное обеспечение, провести прогнозные расчёты динамики эксплуатации автокранов с истекшим сроком службы и выявить прогноз коэффициента смертельного травматизма на 1000 кранов на 10 лет — до 2025 года. Результаты проведенного исследования могут дать в будущем возможность осуществлять прогнозирование случаев травматизма, это позволит осуществлять меры по предотвращению аварий, ликвидации несчастных случаев.

**Основная часть.** Одна из негативных сторон в существующей проблеме травматизма и аварийности при эксплуатации грузоподъемных машин и механизмов в России — это старение парка грузоподъемных машин. Действительно, в 1990-х годах в РФ сократилось количество выпускаемых отечественных кранов, а число эксплуатируемых кранов зарубежных производителей было ничтожно малым (рис.1).

in the operation of various HM, [3, 4]. Their authors propose to use mathematical modeling as a tool for creating an adequate model for predicting the number of emergencies and accidents.

However, there are practically no studies where correlations were found, with the help of which, according to Pearson's criterion (correlation coefficient), it would be possible to establish cause-and-effect relationships with accidents and injuries.

The creation of a mathematical model, which can be used to predict emergencies and accidents, will allow the Supervisory Authority (Rostekhnadzor (Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Oversight of Russia) to develop and implement measures in the field of industrial safety to prevent emergencies and accidents at enterprises operating HM. The task for the authors of this study is to consider various methods of analysis and prediction of accidents and industrial injuries, to present the software used, to make predictive calculations of the dynamics of operation of cranes with the expired service life and to identify the prediction of fatal injuries coefficient per 1,000 cranes for 10 years — until 2025. The results of the study can provide an opportunity in the future to predict the occurrence of injuries, it will allow you to implement measures to prevent emergencies, eliminate accidents.

**Main part.** One of the negative sides in the existing problem of injuries and accidents in the operation of hoisting equipment in Russia is aging of the lifting machines fleet. Indeed, in 1990-ies in the Russian Federation, the number of produced domestic cranes reduced, and the number of operated cranes of foreign manufacturers was negligible (Fig.1).

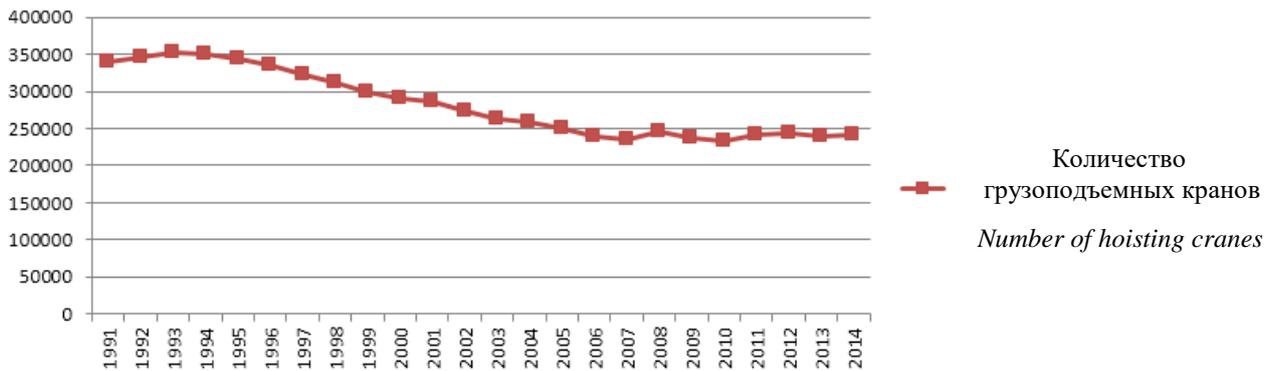


Рис. 1. Динамика снижения количества эксплуатируемых кранов в России

*Fig. 1. Dynamics of decrease in the number of operated cranes in Russia*

Проблема усугубляется тем, что в РФ, по данным Госкомстата РФ, с середины 1990-х до 2008–2009-х годов резко выросло число ГПМ с истекшим сроком службы. Причина этого кроется в том, что страна жила за счёт ресурса, накопленного в советское время, когда отечественный производитель ГПМ справлялся с производственными нуждами (рис. 2).

Начиная с 2009–2010 годов по настоящее время ситуация несколько изменилась. Количество ГПМ, у которых истёк срок службы, не снижалось, стало стабильным (рис. 2, 3) за счёт прежде всего закупок кранов и ПС зарубежного производства. Анализ статистических данных по травматизму за 2009–2015 гг. показывает, что наблюдается тенденция роста как аварийности, так и смертельного травматизма при эксплуатации подъемных сооружений (ПС) на опасных производственных объектах (ОПО) (рис. 4, 5).

The problem is exacerbated by the fact that in Russia, according to the State Statistics Committee, the number of HM with an expired service life sharply increased from the mid-1990s to 2008–2009-ies. The reason for this lies in the fact that the country lived at the expense of the resource accumulated in Soviet times, when the domestic manufacturer of HM coped with the production needs (Fig. 2).

From 2009–2010 to the present day, the situation has changed somewhat. The number of HM that have the expired service life has not decreased, but has become stable (Fig. 2, 3) primarily due to the purchasing of foreign cranes and hoisting devices. The analysis of statistical data on injuries for 2009–2015 shows that there is a tendency of growth of both accidents and fatal injuries in the operation of hoisting devices (HD) at hazardous production facilities (HPF) (Fig. 4, 5).

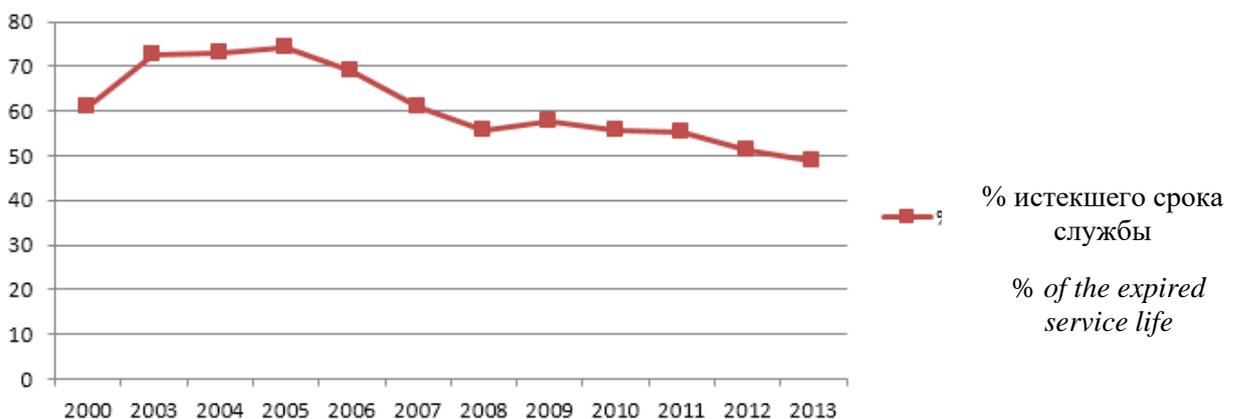


Рис. 2. Динамика эксплуатации башенных кранов с истекшим сроком службы

*Fig. 3. Dynamics of operation of autocranes with the expired service life*

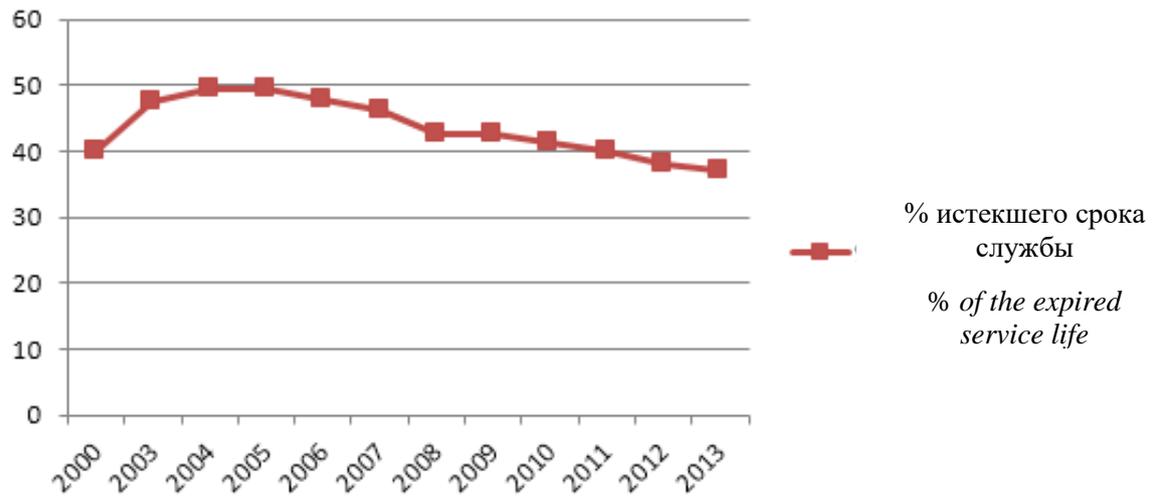


Рис. 3. Динамика эксплуатации автокранов с истекшим сроком службы

Fig. 3. Dynamics of operation of autocranes with the expired service life

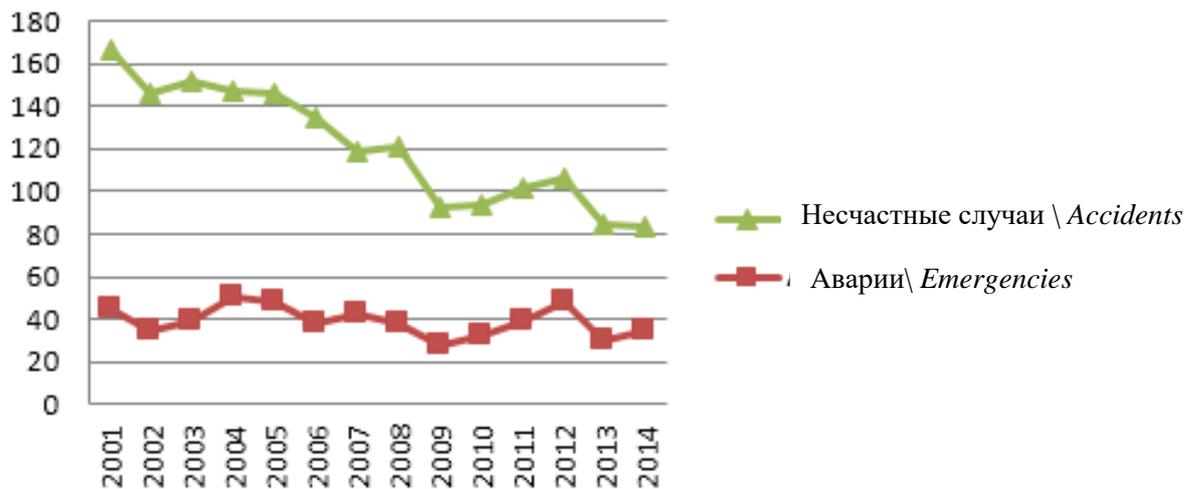


Рис. 4. Динамика аварийности и несчастных случаев при эксплуатации ПС

Fig. 4. Dynamics of emergencies and accidents in the operation of HD

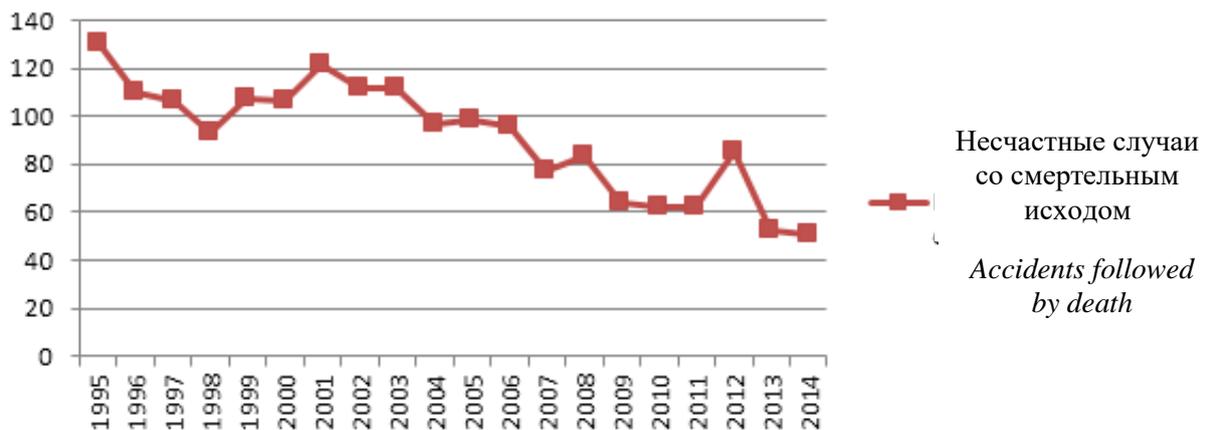


Рис. 5. Динамика смертельного травматизма при эксплуатации ПС

Fig. 5. Dynamics of fatal injuries in the operation of HD

Использование риск-ориентированного подхода при организации государственного контроля и надзора за соблюдением требований промышленной безопасности при эксплуатации ОПО с ПС привело к сокращению на тот период числа плановых проверок, проводимых Ростехнадзором в отношении организаций, эксплуатирующих ОПО. Так, по итогам проведенной в 2013 г. перерегистрации ОПО с присвоением класса опасности около 92% всех ОПО с ПС были отнесены к IV классу опасности, в отношении которых проверки не проводятся. Таким образом, с 2013 года огромное количество ПС несколько лет являлось не подконтрольным государственным надзорным органам. Кроме того, изменения законодательства в части вывода лифтов, платформ подъемных для инвалидов и эскалаторов вне метрополитенов из категории ОПО также повлияло на ослабление надзора за этими объектами со стороны Ростехнадзора. Данный фактор усугубил и без того сложную ситуацию с обеспечением безопасности при эксплуатации ГПМ и ПС в России.

В результате владельцы подъемных сооружений практически на законных основаниях не вкладывают средства не только на техническое перевооружение, но и на поддержание изношенного парка подъемных сооружений в исправном состоянии, а также на содержание в штате квалифицированного обслуживающего персонала и специалистов. Данное обстоятельство недопустимо и ведет к росту аварийности и травматизма при эксплуатации грузоподъемных машин и механизмов в России. Результаты такой политики приведут к росту числа аварий и несчастных случаев.

Общее же снижение с 1995 года несчастных случаев со смертельным исходом объясняется снижением общего количества эксплуатируемых ГПМ в России. Количество аварий при эксплуатации кранов в России составляет от 40 до 60 в год (рис. 6). Аварии ежегодно приводят к 90–100 смертельным несчастным случаям на производстве. Представленные данные весьма устойчивы.

The use of a risk-based approach in the organization of state control and supervision over the compliance of industrial safety requirements in the operation of HPF with HD led for that period to the reduction in the number of planned inspections conducted by Rostekhnadzor for organizations operating HPF. Thus, according to the results of the re-registration of HPF in 2013 with the assignment of the hazard class, about 92% of all HPF with HD were assigned to the IV hazard class, in respect of which no inspections are carried out. Thus, since 2013, a huge number of HD has not been controlled by the State Supervisory Authorities for several years. In addition, changes in legislation regarding the withdrawal from the HPF category of elevators, lifting platforms for disabled people and escalators, that are not used in metro also contributed to the weakening of the Rostekhnadzor supervision over these objects. This factor has aggravated the already difficult situation with ensuring safety in the operation of HM and HD in Russia.

As a result, the owners of lifting facilities practically legally do not invest in technical re-equipment, as well as they do not maintain in good condition the worn-out park of lifting facilities, and maintain a staff of qualified service personnel and specialists. This circumstance is unacceptable and leads to an increase in accidents and injuries in the operation of lifting machines and equipment in Russia. The results of this policy will lead to an increase in the number of accidents.

The overall decrease since 1995 in fatal accidents is due to the decrease in the total number of HD operated in Russia. The number of accidents during the operation of cranes in Russia is from 40 to 60 a year (Fig. 6). 90-100 accidents are followed by death at work each year. The data presented are very stable.

Причины аварий, как известно, делятся на технические и организационные. Следует заметить, что больше половины (60%) аварий происходит по техническим причинам, в основном из-за неудовлетворительного состояния технических устройств (30%), из-за приборов безопасности (15%) и нарушения технологии производства работ (25%). Высоким остается количество аварий по организационным причинам (40%).

The causes of accidents, as you know, are divided into technical and organizational. It should be noted that more than half (60%) of accidents occur for technical reasons, mainly due to unsatisfactory condition of technical equipment (30%), due to safety devices (15%) and violations of the technology of work (25%). The number of accidents due to organizational reasons remains high (40%).

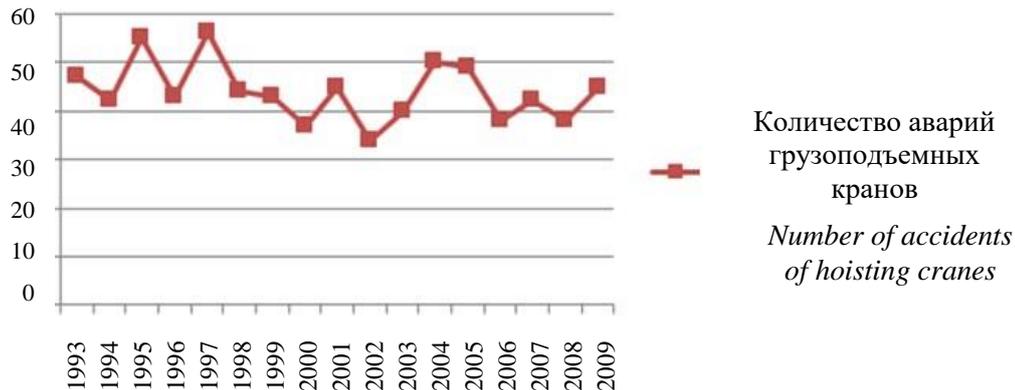


Рис. 6. Количество аварий грузоподъемных кранов в России

Fig. 6. Number of accidents of hoisting cranes in Russia

На рис. 7 представлено распределение числа смертельных травм при эксплуатации различных видов ГПМ, эти данные свидетельствуют о том, что самая высокая аварийность бывает при работе башенных и автомобильных кранов.

Fig. 7 shows the distribution of the number of fatal injuries in the operation of various types of HM. These data indicate that the highest accident rate occurs during the operation of tower and automobile cranes.

Самыми опасными факторами при работе этих механизмов являются эксплуатация приборов и устройств безопасности с различными дефектами, а также повреждения технических устройств и элементов ГПМ.

The most dangerous factors in the operation of these mechanisms are the operation of equipment and safety devices with various defects, as well as damage to technical devices and elements of the HD.

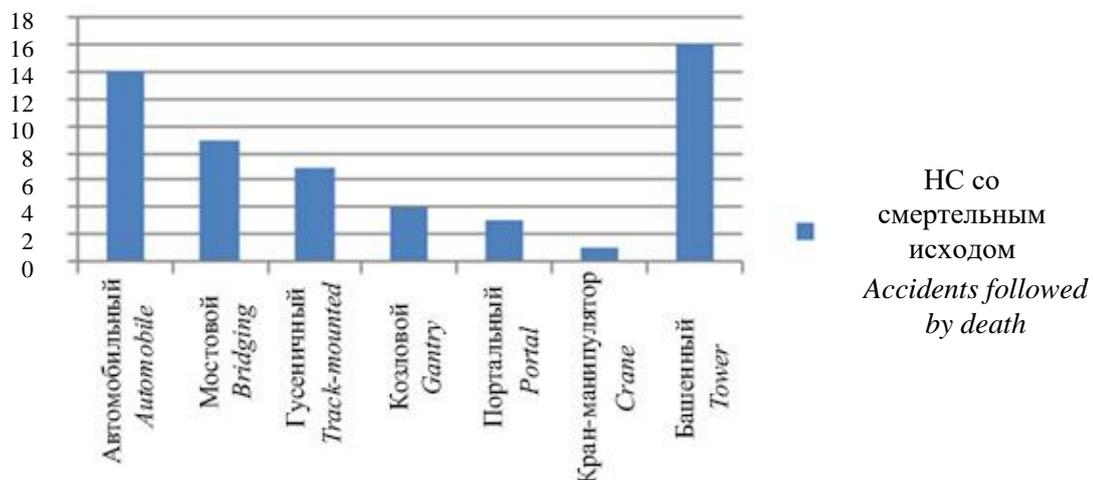


Рис. 7. Распределение случаев смертельного травматизма по видам грузоподъемных машин

Fig. 7. Distribution of fatal injuries by the type of lifting equipment

В среднем ежегодно в России при эксплуатации подъемных сооружений смертельные травмы получают от 96 до 105 человек.

Анализ статистических данных за 2015 год позволяет сделать вывод, что самый высокий уровень аварийности наблюдается при эксплуатации башенных (13 случаев) и автомобильных (9 случаев) кранов (рис. 8) [5].

On average, from 96 to 105 people in Russia annually suffer fatal injuries during the operation of lifting facilities.

The analysis of statistical data for 2015 allows us to conclude that the highest level of accident rate is observed in the operation of tower (13 cases) and automobile (9 cases) cranes (Fig. (8) [5].

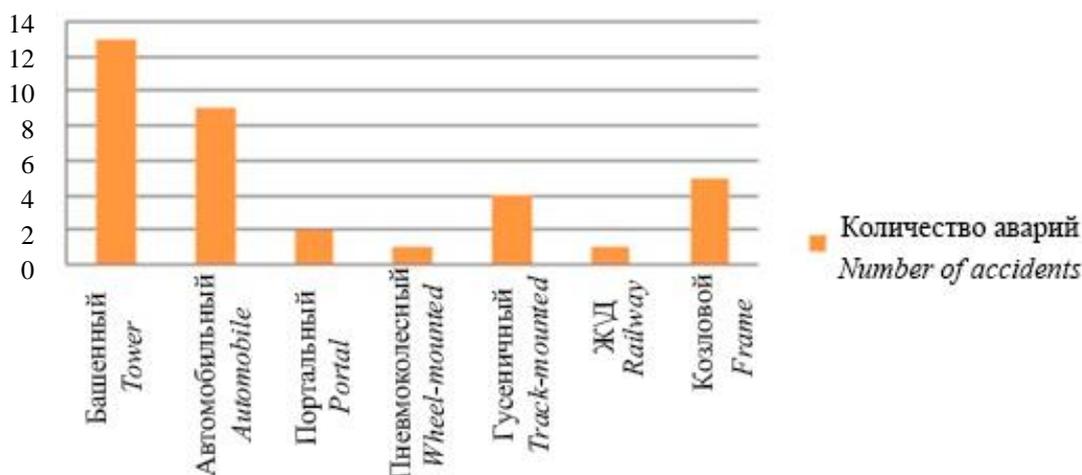


Рис. 8. Распределение аварий по видам грузоподъемных машин

Fig. 8. Distribution of accidents by the types of hoisting machines

Значения коэффициента смертельного травматизма на 1000 кранов в Российской Федерации, по данным Ростехнадзора, представлены на рис. 9 (средний коэффициент по России — 0,19 на 2014 год) [5].

The values of the coefficient of fatal injuries on 1000 cranes in the Russian Federation, according to the Rostekhnadzor, are presented in Fig. 9 (the average coefficient in Russia is 0.19 for 2014) [5].

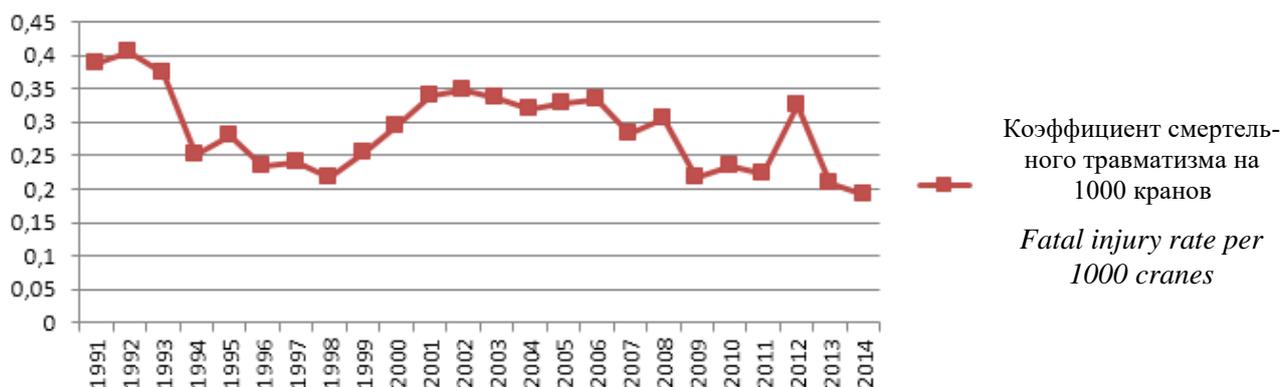


Рис. 9. Коэффициент смертельного травматизма на 1000 кранов

Fig. 9. Fatal injury rate per 1000 cranes

**Методы прогноза и анализа травматизма.** Данные статистики травматизма являются многопараметрической функцией с присутствием стохастических элементов. При анализе компонентов случайных функций необхо-

**Methods for prediction and analysis of injuries.** Injury statistics are a multiparametric function with the presence of stochastic elements. When analyzing the components of ran-

димо иметь представление о погрешности применяемых методов расчёта, а также располагать эффективным алгоритмом проверки данных на адекватность прогнозируемых значений.

При обработке статистики в данной области используются следующие методы:

1. Предсказание (экстраполяция) вектора данных с использованием специального программного обеспечения [6]. Аналитические методы регрессионного описания функций травматизма в виде полуэмпирических формул.

2. Методы, связанные с анализом фрактальных размерностей, привлеченные из теории сигналов, содержащих в своем описании случайные составляющие [7].

3. Группа методов, анализирующая стандартные и специальные статистические характеристики выборки (среднее арифметическое, геометрическое, гармоническое взвешенное, коэффициент корреляции, модель Пуассона, коэффициент  $R^2$  и т.д.) [8, 9].

4. Анализ дерева событий — алгоритм построения последовательности событий, исходящих из основного события (аварийная ситуация) на основании которого можно рассчитать вероятности вершинных событий различных ситуаций.

При анализе данных использовался математический пакет MathSoft MathCAD (рис.10). Основная используемая функция *predict* ( $v, m, n$ ). Эта функция использует три операнда:  $v$  — исходный вектор данных;  $m$  — количество исходных последних значений в выборке, которые берутся для составления прогноза;  $n$  — количество чисел, определяющее объём прогноза [6].

dom functions, it is necessary to have an idea of the error of the calculation methods used, as well as to have an effective algorithm for checking the data for the adequacy of the predicted values.

The following methods are used to process statistics in this area:

1. Prediction (extrapolation) of data vector using special software [6]. Analytical methods of regression description of injury functions in the form of semi-empirical formulas.

2. Methods related to the analysis of fractal dimensions drawn from the theory of signals containing random components in their description [7].

3. A group of methods analyzing standard and special statistical characteristics of the sample (arithmetic mean, geometric, harmonic weighted, correlation coefficient, Poisson's model,  $R^2$  coefficient, etc.) [8, 9].

4. Analysis of the event tree — an algorithm for constructing a sequence of events originating from the main event (emergency) on the basis of which it is possible to calculate the probability of apical events of different situations.

The mathematical package MathSoft MathCAD was used for data analysis (Fig.10). The main function used is *predict* ( $v, m, n$ ). This function uses three operands:  $v$  — the initial vector of data;  $m$  — the number of the initial last values in the sample, which are taken to make a prediction;  $n$  — the number of numbers that determine the volume of the prediction [6].

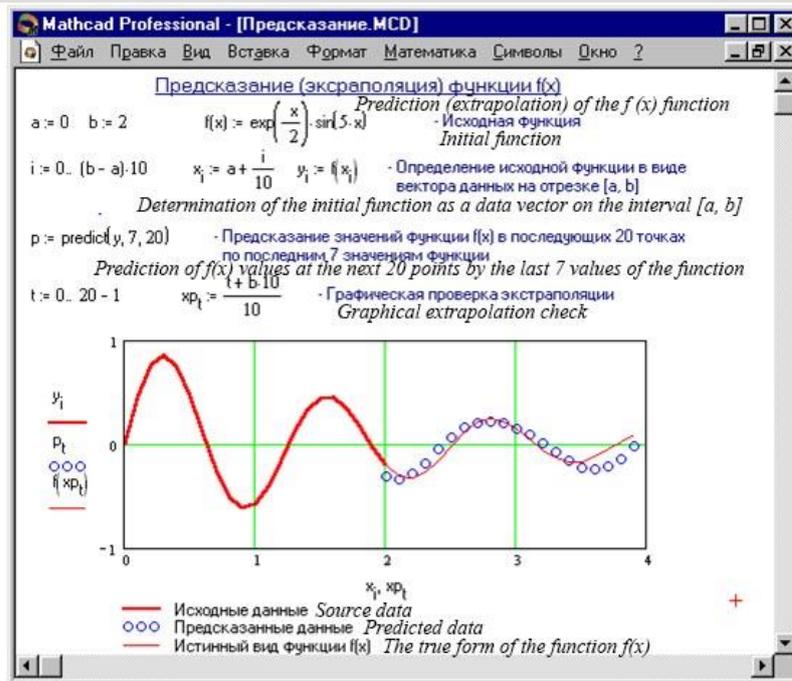


Рис. 10. Пример экстраполяции вектора данных с помощью функции *predict* ( $v, m, n$ )

Fig. 10. An example of extrapolation of the data vector using the *predict* function ( $v, m, n$ )

При экстраполяции в MathCAD расчёты проводятся в виде отладки прогноза, т.е. вначале проверяется адекватное по погрешности количество лет при прогнозе. После выбирается период времени для прогноза и осуществляется экстраполяция вектора данных. Погрешность проверяется с помощью регрессионного коэффициента  $R^2$  (отношение дисперсий исходных значений вектора данных и проверочных значений, вычисленных для того же периода времени).

**Результаты прогнозных расчётов.** Были проведены прогнозныe расчёты динамики эксплуатации автокранов с истекшим сроком службы как фактора, безусловно влияющего на динамику аварийности и несчастных случаев НС при эксплуатации ПС, и коэффициента смертельного травматизма на 1000 кранов (рис. 11–13).

When extrapolating in MathCAD the calculations are carried out in the form of debugging the prediction, i.e. first you check the adequate error in the number of years of the prediction. After that, the time period for the prediction is selected and the data vector is extrapolated. The error is verified by the  $R^2$  regression coefficient (the ratio of variances between the original data vector values and the test values calculated for the same period).

**Prediction Calculations Results.** The authors have carried out the prediction calculations of the dynamics of autocranes operation with the expired life service as a factor that will definitely influence the dynamics of accidents and emergencies during operation of HD, and the rate of fatal injuries per 1,000 cranes (Fig. 11–13).

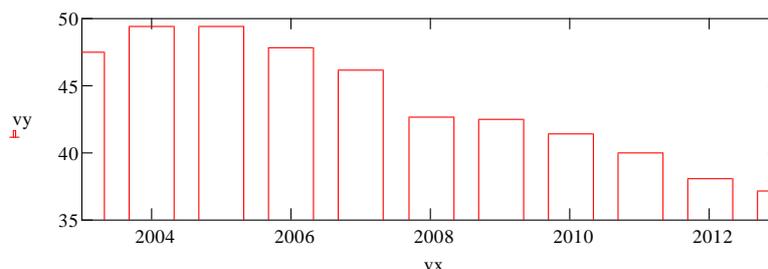


Рис. 11. Исходная статистика динамики эксплуатации автокранов с истекшим сроком службы

Fig. 11. Initial statistics of operation dynamics of cranes with the expired service life

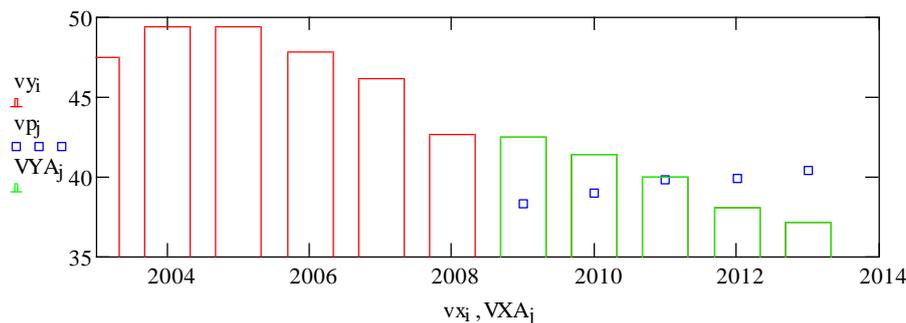
$$\begin{aligned}
 SR_{VYA} &:= \sum_{m=0}^4 \frac{VYA_m}{5} & SR_{VP} &:= \sum_{m=0}^4 \frac{VP_m}{5} \\
 SR_{VYA} &= 15.8 & SR_{VP} &= 16.817 \\
 DISP_{VYA} &:= \sum_{m=0}^4 \frac{(SR_{VYA} - VYA_m)^2}{5} & DISP_{VP} &:= \sum_{m=0}^4 \frac{(SR_{VP} - VP_m)^2}{5} \\
 DISP_{VYA} &= 21.36 & DISP_{VP} &= 22.395 \\
 R2 &:= \frac{DISP_{VYA}}{DISP_{VP}} \\
 R2 &= 0.95377999214
 \end{aligned}$$

Рис. 12. Отладка прогноза с помощью коэффициента  $R^2$ :

*Fig. 12. Debugging the prediction by the coefficient  $R^2$ :*

$SR_{VYA}$  — среднее арифметическое отладочных значений, взятых из вектора данных за 2010–2014 гг.,  
 $SR_{VP}$  — среднее арифметическое спрогнозированных значений за 4 года,  $DISP_{VYA}$ ,  
 $DISP_{VP}$  — дисперсии двух анализируемых выборок,  $R2$  — регрессионный коэффициент  $R^2$  (должен показывать 5–10-процентное отношение)

*$SR_{VYA}$  — the arithmetic average of the debug values from the data vector for 2010-2014,  $SR_{VP}$  — the arithmetic average of the predicted values over 4 years,  $DISP_{VYA}$ ,  $DISP_{VP}$  — the dispersion of the two analyzed samples,  $R2$  — the regression coefficient  $R^2$  (should show a 5-10% ratio)*



$$R2 = 0.97140470444$$

Рис. 13. Отладка прогноза с помощью коэффициента  $R^2$  и функции *predict* ( $v, m, n$ ) динамики эксплуатации автокранов с истекшим сроком службы

*Fig. 13. Debugging the prediction by the coefficient  $R^2$ , and function *predict* ( $v, m, n$ ) of autocranes with the expired service life operation dynamics*

Исходные данные для расчёта были приняты из статистики по аварийности и несчастным случаям при эксплуатации ПС.

При отладке прогноза использовался период времени с накопленной статистикой аварийности с 2001 по 2014 год. В результате отладки было определено, что показатель  $n$  имеет оптимальное значение, равное 5 (рис. 14).

The initial data for the calculation were taken from the statistics on accidents and emergencies during the operation of HD.

When debugging the prediction, the period with the accumulated accident statistics from 2001 to 2014 was used. As a result of debugging, it was determined that the indicator  $n$  has an optimal value of 5 (Fig. 14).

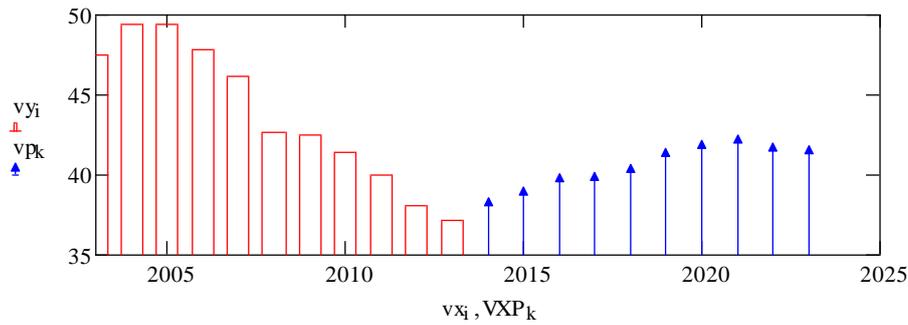
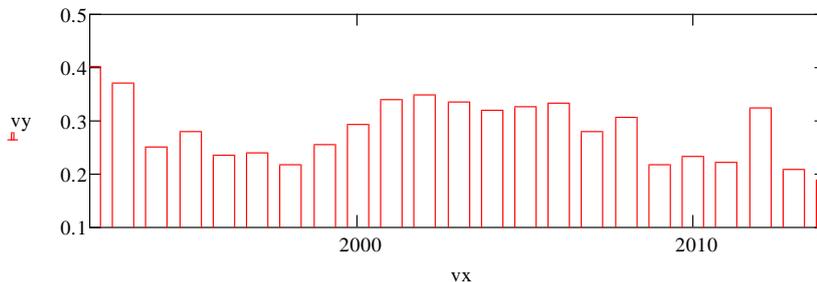


Рис. 14. Результат формирования отлаженного прогноза динамики эксплуатации автокранов с истекшим сроком службы с помощью функции predict на 10 лет, вплоть до 2025 года

Fig. 14. Result of formation of the debugged prediction of autocranes with the expired service life operation dynamics by means of the predict function for 10 years, up to 2025

**Прогноз коэффициента смертельного травматизма на 1000 кранов на 10 лет, до 2025 года.** На рис.15 представлены результаты расчёта прогноза динамики коэффициента смертельного травматизма на 1000 кранов на 10 лет. Как видно по результатам прогноза, к 2025 году следует ожидать снижения коэффициента не более чем на 0,25.

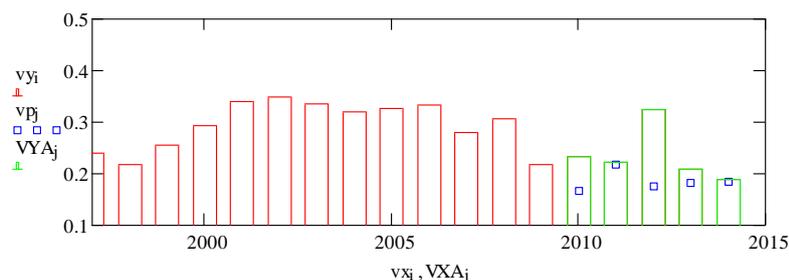
**Prediction of fatal injuries coefficient per 1,000 cranes for 10 years, until 2025.** Fig.15 shows the prediction calculation results of the dynamics of fatal injuries coefficient on 1000 cranes for 10 years. As it can be seen from the prediction results, by 2025 the coefficient should be expected to decrease by no more than 0.25.



a

$n$	$R^2$
7	0,464
6	0,391
5	0,372
4	0,408
3	0,324

b



c

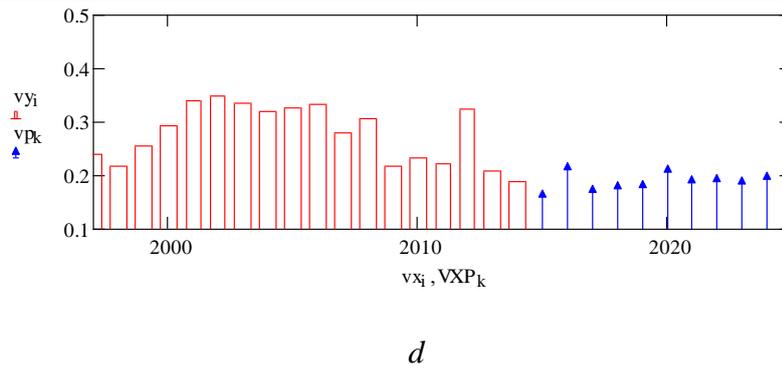


Рис. 15. Прогноз коэффициента смертельного травматизма на 1000 кранов на 10 лет:  
*a* — данные статистики, *b* — отладка прогноза по  $R^2$ , *c* — эффективный вариант прогноза,  
*d* — результат прогноза на 10 лет

Fig. 15. Prediction of fatal injuries coefficient per 1000 cranes for 10 years:  
*a* — statistics *b* — debugging the prediction on  $R^2$ , *c* — efficient variant of the prediction,  
*d* — result of 10-years prediction

**Корреляция соотношения между числом кранов с истекшим сроком службы и количеством аварий.** Коэффициент корреляции  $r_{xy}$  позволяет определить силу линейной корреляционной связи между случайными событиями. Известны силы корреляционной связи: сильная — от  $\pm 0,7$  до  $\pm 1$ ; средняя — от  $\pm 0,3$  до  $\pm 0,699$ ; слабая — от 0 до  $\pm 0,299$ .

Расчет вели с учётом того, что случайная величина  $X$  — процент вида ГМП с истекшим сроком службы, а случайная величина  $Y$  — количество аварий соответствующего вида кранов.

Коэффициенты корреляции был рассчитаны с помощью пакета MathCad, и результаты представлены на рис.16.

**Correlation of the ratio between the number of cranes with the expired service life and the number of accidents.** Correlation coefficient  $r_{xy}$  allows you to determine the strength of the linear correlation between random events. We know the forces of correlation: strong — from  $\pm 0.7$  to  $\pm 1$ ; medium — from  $\pm 0.3$  to  $\pm 0.699$ ; weak — from 0 to  $\pm 0.299$ .

The calculation was carried out taking into account the fact that the random variable  $X$  — percentage of the type of HM with the expired service life, and the random variable  $Y$  — the number of accidents of the corresponding type of cranes.

The correlation coefficients were calculated using the MathCad package and the results are shown in Fig.16.

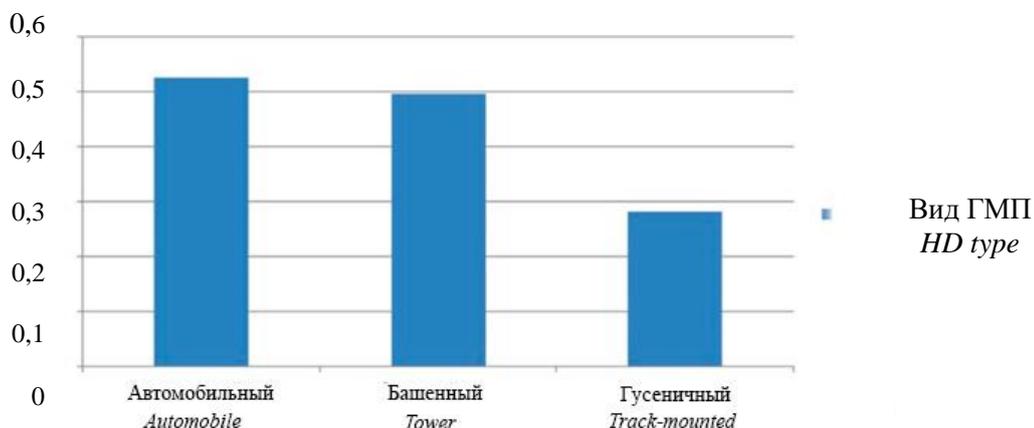


Рис. 16. Коэффициенты корреляционной связи между числом кранов с истекшим сроком службы и количеством аварий

Fig. 16. Correlation coefficients between the number of cranes with the expired service life and the number of accidents

В случае автокранов коэффициент Пирсона  $r_{xy} = 0,524$  положителен, что означает среднюю прямую зависимость. С ростом числа автокранов с истекшим сроком службы возрастает количество аварий. Такая же тенденция получена и для башенных кранов ( $r_{xy} = 0,495$ ).

Что касается связи между количеством эксплуатируемых кранов и количеством аварий, то она также средняя ( $r_{xy} = 0,54$ ), и ее нужно учитывать.

Коэффициент положителен, это означает среднюю прямую зависимость. Если количество ГПМ будет уменьшаться, то и количество аварий соответственно тоже.

Следует отметить, что интерес представляет выявление и других причинно-следственных связей, оказывающих влияние на аварийность и травматизм в сфере применения ГПМ. Например, интересно рассмотреть вопрос о силе корреляционной связи между количеством эксплуатируемых в России зарубежных кранов и числом аварий.

**Выводы.** Приведена статистика несчастных случаев и смертельных травм на подъемных сооружениях, а также данные по аварийности грузоподъемных машин (ГПМ).

Выполнен обзор различных методов анализа и прогноза аварийности и производственного травматизма, а также описано используемое программное обеспечение.

В процессе анализа данных использовались алгоритмы интерполяции и экстраполяции, заложенные в математическое программное обеспечение, корреляция случайных величин.

В результате моделирования процесса прогноза на ЭВМ определяются интервалы времени, дающие более точные результаты в отношении динамики эксплуатации кранов с истекшим сроком службы и коэффициента смертельного травматизма на 1000 кранов. Рост количества кранов с истекшим сроком службы сочетается с увеличением коэффициента смертельного травматизма на 1000 кранов, что вполне объяснимо.

Рассмотрена корреляция соотношения числа автокранов с истекшим сроком службы и количества аварий с ними, вычислены коэф-

In the case of autocranes Pearson coefficient  $r_{xy}=0.524$  is positive, which means the average direct dependence. The number of accidents increases with the increase in the number of cranes with the expired service life. The same trend is obtained for tower cranes ( $r_{xy}=0.495$ ).

When it comes to the relationship between the number of cranes in operation and the number of accidents, it is also average ( $r_{xy}=0.54$ ), and it must be taken into account.

The coefficient is positive; it means the average direct dependence. If the number of HD decreases, then the number of accidents, respectively, too.

It should be noted that it is of interest to identify other cause-and-effect relationships that affect the accident rate and injuries in the field of HD. For example, it is interesting to consider the strength of the correlation between the number of foreign cranes operated in Russia and the number of accidents.

**Conclusions.** The statistics on accidents and fatal injuries on lifting constructions, and the data on accident rate of hoisting devices (HD) are given.

The review of various methods of analysis and prediction of accidents and industrial injuries is provided, as well as the software is described.

In the process of data analysis the interpolation and extrapolation algorithms incorporated in the mathematical software, correlation of random variables were used.

As a result of computer simulation of the prediction process, time intervals are determined, which give more accurate results of the dynamics of cranes operation with the expired service life and the coefficient of fatal injuries per 1000 cranes. The increase in the number of cranes with the expired service life is connected to the increase in fatal injury rate by 1,000 cranes, which is understandable.

The correlation between the ratio of the number of cranes with the expired service life and the number of accidents with them is considered, the

фициенты корреляции, которые показали устойчивую связь между событиями.

Динамика эксплуатации автокранов с истекшим сроком службы является фактором, влияющим на динамику аварийности и несчастных случаев при эксплуатации ГПМ.

Рост количества кранов с истекшим сроком службы сочетается с увеличением коэффициента смертельного травматизма на 1000 кранов, что вполне объяснимо.

Найдены корреляционные зависимости, с помощью которых по критерию Пирсона (коэффициент корреляции) установлены причинно-следственные связи с авариями и травматизмом. Также выявлена причинно-следственная связь количества грузоподъемных машин и динамики аварийности ГПМ.

Наиболее перспективными методами для дальнейшего исследования являются методы фрактального и вейвлет-анализа.

В результате проведенного исследования ожидается возможность осуществления прогнозирования травматизма, которое позволит органам надзора и контроля совместно с собственниками ГПМ разрабатывать и осуществлять меры по предотвращению аварий или ликвидации несчастных случаев, которые могут происходить в будущем. Последнее обстоятельство позволит компаниям экономить деньги на медицинском обеспечении и компенсации пострадавшим работникам, и это будет влиять на позитивное социально-экономическое воздействие на защиту работников от травм на работе.

#### **Библиографический список**

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов : федер. закон [принят Государственной Думой 20 июня 1997 года] : [Электронный ресурс] / КонсультантПлюс. — Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_15234/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/) (дата обращения: 07.08.18).

2. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных про-

duction facilities, which showed a stable connection between the events.

The dynamics of operation of cranes with the expired service life is the factor influencing the dynamics of accident rate during the operation of HD.

The increase in the number of cranes with the expired service life is connected to the increase in fatal injury rate by 1,000 cranes, which is understandable.

Correlation dependences are found, with the help of which by Pearson's criterion (correlation coefficient) cause-and-effect relationship with accidents and injuries are established. The causal relationship between the number of hoisting devices and the dynamics of the accident rate of HD was also revealed.

The most promising methods for further research are the methods of fractal and wavelet analysis.

As a result of the study, it is expected that it will be possible to predict injuries, which will allow the Supervisory and Control Bodies, together with the owners of HD, to develop and implement measures to prevent accidents or eliminate emergencies that may occur in the future. The latter circumstance will allow companies to save money on medical care and compensation for injured workers, and this will affect the positive socio-economic impact on the protection of workers from injuries at work.

#### **References**

1. O promyshlennoy bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov: Feder. zakon. prinyat Gosudarstvennoy Dumoy 20 iyunya 1997 goda. [On industrial safety of hazardous production facilities: Feder. law. Adopted by the State Duma on June 20, 1997.] KonsultantPlus. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_15234/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/) (in Russian).

2. Ob utverzhdenii Fedral'nykh norm i pravil v oblasti promyshlennoy bezopasnosti "Pravila bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov,

изводственных объектов, на которых используются подъемные сооружения»: [приказ Ростехнадзора от 12 ноября 2013 года]: [Электронный ресурс] / Законы, кодексы и нормативно-правовые акты Российской Федерации. — Режим доступа: <http://legalacts.ru/doc/prikaz-rostekhnadzora-ot-12112013-n-533-ob/> (дата обращения: 07.08.18).

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

4. Occupational safety and health country profile: Zimbabwe / International Labour Organization. Access: <http://www.ilo.org/safework/countries/africa/zimbabwe/lang--en/index.htm>. (date access: 29.04.2016 г.).

5. Информационный бюллетень Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [Электронный ресурс] / Ростехнадзор. — Режим доступа: [http://www.gosnadzor.ru/about\\_gosnadzor/press\\_office/oficialnye\\_izdania/inform\\_bulleten/](http://www.gosnadzor.ru/about_gosnadzor/press_office/oficialnye_izdania/inform_bulleten/) (дата обращения: 07.08.18).

6. Ханова, А. А. Интерполяция функций: учебно-методическое пособие / А. А. Ханова [Электронный ресурс] / Единое окно доступа к информационным ресурсам. — Режим доступа: <http://www.exponenta.ru/educat/systemat/hanova/interp/math.asp> (дата обращения: 05.05.16).

7. Муллер, Н. В. Прогнозирование риска производственного травматизма методом вейвлет и фрактального анализа / Н. В. Муллер // Вестник СамГУ. Естественно-научная серия. — 2009. — №2 (68). — С. 146–154.

8. Ncube, B. (2003), An aid to occupational safety and health, Best practices in occupational safety and health: aiming for zero tolerance. Benarby printers, Harare.

9. Qureshi Z.H. 2008. A Review of Accident Modeling Approaches for Complex Critical Soci-

na territorii kotorykh ispol'zuyutsya pod'emnye sooruzheniya." Prikaz Rostekhnadzora ot 12 noyabrya 2013 goda. [On the approval of Federal regulations and rules in the field of industrial safety "Safety Rules for hazardous production facilities on which lifting constructions are used". Order of Rostekhnadzor of November 12, 2013.] Laws, codes and normative legal acts of the Russian Federation. Available at: <http://legalacts.ru/doc/prikaz-rostekhnadzora-ot-12112013-n-533-ob/> (in Russian).

3. Bulygin, Yu. I. et al. Obosnovanie metoda matematicheskogo prognozirovaniya neschastnykh sluchae v gornodobyvayushchey promyshlennosti Respubliki Zimbabve. [Substantiation of the method of mathematical forecasting of accidents in the mining industry of the Republic of Zimbabwe.] Aspirant, 2016, no. 8 (1), pp. 159-164 (in Russian).

4. Occupational safety and health country profile. Zimbabwe. International labour organization. Available at: <http://www.ilo.org/safework/countries/africa/zimbabwe/lang--en/index.htm>.

5. Informatsionny byulleten' Federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru. [Information Bulletin of the Federal service for environmental, technological and nuclear supervision.] Rostekhnadzor. Available at: [http://www.gosnadzor.ru/about\\_gosnadzor/press\\_office/oficialnye\\_izdania/inform\\_bulleten/](http://www.gosnadzor.ru/about_gosnadzor/press_office/oficialnye_izdania/inform_bulleten/) (in Russian).

6. Khanova, A.A. Interpolyatsiya funktsiy: uchebno-metodicheskoe posobie. [Interpolation of functions: educational-methodical manual.] Edinoe okno dostupa k informatsionnym resursam. Available at: <http://www.exponenta.ru/educat/systemat/hanova/interp/math.asp> (in Russian).

7. Muller, N.V. Prognozirovaniye riska proizvodstvennogo travmatizma metodom veyvlet i fraktal'nogo analiza. [Predicting the risk of industrial injuries by the method of wavelet and fractal analysis.] Vestnik SamGU. Estestvenno-nauchnaya seriya, 2009, no.2 (68), pp. 146-154 (in Russian).

8. Ncube, B. (2003), An aid to occupational safety and health, Best practices in occupational safety and health: aiming for zero tolerance. Benarby printers, Harare.

9. Qureshi Z.H. 2008. A Review of Accident

otechnical Systems. Defence Science and Technology Organization DSTO-TR-2094

Поступила в редакцию 05.02.2018

Сдана в редакцию 06.02.2018

Запланирована в номер 20.07.2018

**Булыгин Юрий Игоревич,**  
*профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук,*  
[bulyur\\_rostov@mail.ru](mailto:bulyur_rostov@mail.ru)

**Газгиреев Аслан Султанович,**  
*магистрант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета, (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),*  
[asgaz96@mail.ru](mailto:asgaz96@mail.ru)

**Лазуренко Роберт Робертович,**  
*старший преподаватель кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета, (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),*  
[lirtokas@mail.ru](mailto:lirtokas@mail.ru)

**Пантузенко Александр Алексеевич,**  
*магистрант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета, (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),*  
[lokimen7777@yandex.ru](mailto:lokimen7777@yandex.ru)

Modeling Approaches for Complex Critical Sociotechnical Systems. Defence Science and Technology Organization DSTO-TR-2094

Received 05.02.2018

Submitted 06.02.2018

Scheduled in the issue 20.07.2018

**Bulygin Yuriy Igorevich,**  
*professor of Department of life Safety and environmental protection of the Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation), doctor of sciences,*  
[bulyur\\_rostov@mail.ru](mailto:bulyur_rostov@mail.ru)

**Gazgireev Aslan Sultanovich,**  
*master's degree student of Department "Life safety and environmental protection" of the Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation),*  
[asgaz96@mail.ru](mailto:asgaz96@mail.ru)

**Lazurenko Robert Robertovich,**  
*senior lecturer of Department "Life safety and environmental protection" of the Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation),*  
[lirtokas@mail.ru](mailto:lirtokas@mail.ru)

**Pantuzenko Aleksandr Alekseevich,**  
*магистрант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета, (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),*  
[lokimen7777@yandex.ru](mailto:lokimen7777@yandex.ru)