

APPLICATION OF REGRESSION ANALYSIS SOFTWARE FOR RISKS ASSESSMENT IN LIFE SAFETY SYSTEMS

Vinnitsia National Technical University

Анотація

Розглянуто актуальну проблему кількісного оцінювання ризиків у системі безпеки життєдіяльності з використанням програмних засобів регресійного аналізу. Проаналізовано особливості застосування методу найменших квадратів та парної регресійної залежності для визначення впливу окремих факторів на показники виробничої безпеки. Визначено можливості програмного комплексу "RegAnaliz" для автоматизації розрахунків і побудови регресійних моделей у задачах оцінювання ризиків. Розглянуто конкретні приклади встановлення регресійних залежностей між параметрами технічних систем і показниками безпеки. Окреслено перспективи впровадження цифрових інструментів аналізу даних у практику управління безпекою праці та безпекою життєдіяльності.

Ключові слова: безпека життєдіяльності, регресійний аналіз, оцінювання ризиків, програмні засоби, метод найменших квадратів, управління безпекою праці, цифровізація, математичне моделювання.

Abstract

The current problem of quantitative risk assessment in the life safety system using software tools for regression analysis is considered. The features of applying the least squares method and pairwise regression dependence to determine the influence of individual factors on occupational safety indicators are analysed. The capabilities of the "RegAnaliz" software package for automating calculations and building regression models in risk assessment tasks are identified. Specific examples of establishing regression dependencies between technical system parameters and safety indicators are considered. Prospects for implementing digital data analysis tools in occupational safety and life safety management practice are outlined.

Keywords: life safety, regression analysis, risk assessment, software tools, least squares method, occupational safety management, digitalization, mathematical modelling.

Introduction

The modern system of occupational safety and health management poses increasingly complex tasks for researchers and practitioners in quantitative risk assessment. The growth of production data, the complexity of technological processes and the expansion of the spectrum of hazardous factors necessitate the introduction of mathematical methods and software tools for the systematic analysis of information on accidents, injuries and working conditions [1, 2].

Regression analysis is one of the most common statistical methods that allows establishing quantitative relationships between the studied safety indicators and the factors that influence them [3]. The use of software tools for automating such calculations plays a special role, which significantly reduces data processing time and increases the accuracy of management decisions [4, 5]. The relevance of using digital data analysis tools in the field of safety is confirmed by modern trends in the digitalization of the occupational safety system and the integration of information and communication technologies into the practice of industrial risk management [6].

The purpose of the study is to analyze the possibilities of using regression analysis software tools for quantitative risk assessment in the life safety system and to determine the prospects for their implementation in the practice of occupational safety management.

Research results

Risk assessment in the life safety system involves identifying quantitative dependencies between indicators of injury, morbidity or accident rate and a complex of factors of the production environment.

Regression analysis allows formalizing these dependencies in the form of mathematical models suitable for forecasting and management use. A feature of its application in the field of safety is the need to work with data of different nature: physical parameters of equipment, characteristics of the working environment, time series of emergency events, medical indicators of personnel.

The choice of the type of regression model is determined by the nature of the dependence between the variables. In safety problems, linear, power and logarithmic regression models are most widely used. The linear model is used when there is a proportional dependence between the studied indicators, for example, between the duration of contact with a harmful substance and the level of its concentration in the body. The power model describes dependencies in which a change in one indicator causes a disproportionately large change in the other – which is typical for the processes of equipment wear and accumulation of material fatigue. The logarithmic model is effective in analyzing risks that grow slowly with increasing load factor.

An important tool for the practical application of regression analysis in the above tasks is the software package "RegAnaliz", protected by the certificate of copyright registration for the work No. 49486 [7]. The program implements the least squares method for constructing pairwise regression dependencies between two variables: an independent factor (a parameter of working conditions or a technical system) and a dependent indicator (a risk or safety characteristic). The advantage of this tool is the ability to automatically form a regression equation, assess its adequacy, and construct a graphical interpretation of the dependence directly from the observation data entered by the user.

The least squares method, implemented in the software package "RegAnaliz", ensures the minimization of the sum of the squares of the deviations of the actual values of the dependent variable from the values predicted by the model. Mathematically, this boils down to solving a system of normal equations, which allows us to uniquely determine the parameters of the selected type of regression function. The coefficient of determination R^2 , which is a measure of the quality of the approximation, allows us to estimate what proportion of the variation of the dependent variable is explained by the constructed model. In safety problems, the value of $R^2 > 0.8$ usually indicates sufficient quality of the regression model for practical use [8]. To illustrate the capabilities of the method, let us consider a specific example from the practice of risk assessment in the maintenance of municipal equipment. Analysis of the dependence of the duration of loading solid household waste into a garbage truck on the force of clamping the container by the manipulator showed that with an increase in the clamping force from 0.6 to 2.1 kN, the duration of the operation increases from 15.3 to 35.9 s [9]. This dependence is described by a power regression function, the parameters of which are set by the least squares method using the "RegAnaliz" program. Knowledge of this dependence has direct significance for safety: excessive clamping not only increases the cycle time, but also increases the risk of failure of the gripping mechanism and dangerous failures of the hydraulic system [10-13].

Another direction of applying regression analysis in safety problems is related to the study of wear of technical system elements and its impact on safety indicators. It has been established that the duration of tipping a container when loading a garbage truck increases exponentially with increasing wear of the hydraulic cylinder. This means that even relatively small wear leads to a significant slowdown in the operation and an increase in the load on the hydraulic system, which increases the likelihood of an emergency rupture of the main or the fall of the container. The regression model allows us to quantitatively assess the critical level of wear at which the risk of failure becomes unacceptable, and to justify planned preventive maintenance of equipment.

An important area of application of regression analysis software tools is the assessment of environmental pollution risks near solid waste management facilities [14]. Establishing regression dependencies of the concentration of pollutants in the soil on the distance to the landfill and other factors allows substantiating sanitary protection zones and developing measures to protect personnel and the population. The "RegAnaliz" program allows you to quickly process the results of environmental monitoring and form analytical dependencies suitable for regulatory substantiation.

Regression analysis, along with experimental planning, is also widely used for modeling landfill gas production [15-18].

The general methodology for applying regression analysis software tools to assess risks in the life safety system involves several consecutive stages [19]. The first stage involves the collection and initial processing of the initial data on the studied process or object. The second stage involves the selection of the type of regression function based on the analysis of the nature of the studied dependence and preliminary graphical analysis. The third stage consists of calculating the parameters of the regression equation by the least squares method using the software package. The fourth stage involves assessing the adequacy of the model by the

coefficient of determination and criteria of statistical significance. The fifth stage involves interpreting the results in terms of safety and developing practical recommendations.

The digitalization of the occupational safety system opens up new opportunities for automated data collection on industrial risks and their subsequent regression analysis [20]. Integration of regression analysis software tools with telemetry systems, automated workplaces of occupational safety specialists and electronic databases of emergency events allows for continuous monitoring of risks and prompt adjustment of management decisions. In the future, combining regression analysis with machine learning methods and big data will significantly increase the accuracy of risk forecasting and move from reactive to proactive safety management.

The introduction of regression analysis software tools into the educational process of training specialists in occupational safety and life safety is also an important direction. The use of such tools in laboratory work and course projects allows students to acquire practical skills in quantitative risk analysis, which meets the requirements of a competency-based approach to training specialists. The availability of specialized software, developed and tested in real research, greatly facilitates the development of methods of mathematical safety modeling and improves the quality of training of future specialists.

Conclusions

Thus, the use of regression analysis software opens up significant opportunities for quantitative risk assessment in the life safety system. The use of the "RegAnaliz" software package and the least squares method allows you to automate the establishment of quantitative dependencies between factors of the production environment and safety indicators – from the duration of critical technological operations to the level of equipment wear and tear and the concentration of pollutants in the environment. The developed five-stage methodology for applying regression analysis in safety tasks provides a systematic approach to processing observation data and forming informed management decisions. Digitalization of the labor protection system and integration of analytical tools into the practice of industrial risk management is a promising direction for increasing the level of labor safety in the conditions of modern digital transformation.

References

1. Березюк О. В. Регресійний аналіз концентрації нафтопродуктів в ґрунтах полігонів твердих побутових відходів. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2022. № 3. С. 29-34.
2. Березюк О. В. Визначення регресійних залежностей витрат на управління твердими побутовими відходами від рівня доходів населення. Вісник ВПШ. 2012. № 5. С. 24-26.
3. Косарук О., Сметанюк О., Коломієць А. Методика формування в студентів економічних спеціальностей компетентностей застосування регресійного аналізу. Педагогіка безпеки. 2026. № 11(1), С. 117-124.
4. Bereziuk O. V., Savulyak V. I., Kharzhevskiy V. O., Ivanov S. Cv., Yavorskiy V. Ye. Analytical study of a hydraulic drive model for a municipal waste container overturning mechanism in a garbage truck considering the wear of friction pairs. Problems of Tribology. 2025. No. 30(3/117). P. 30-40.
5. Березюк О. В., Яворський В. Є. Удосконалена математична модель роботи гідроприводу механізму завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз із урахуванням зносу пар тертя. Наукові праці ВНТУ. 2025. № 1. С. 154-164.
6. Puhach V., Dembitska S., Kobylianskiy O., Kobylianska I., Moskovchuk O. Development of Students Support Strategies in Digital Educational Environment by Means of Artificial Intelligence. In: Auer M. E., Rüütman T. (eds) Futureproofing Engineering Education for Global Responsibility. ICL 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1260. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-85652-5_22
7. Березюк О. В. Комп'ютерна програма "Регресійний аналіз" ("RegAnaliz"). Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 49486. Київ: Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації: 03.06.2013.
8. Михалевич В. М., Шевчук О. І., Буга Н. Л. Математичні системи комп'ютерної алгебри як засіб підвищення ефективності і якості освітнього процесу з вищої математики. Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми. Вип. 14. Київ–Вінниця: ДОВ «Вінниця», 2007. С. 357-360.
9. Meng X., Sun Q., Liu M. et al. Design and experiment of automatic grasping manipulator for side-mounted garbage truck. Scientific Reports. 2025. No. 15. Art. 11677.
10. Козлов Л. Г., Бойко І. В., Піонткевич О. В. Вплив параметрів системи керування на стійкість гідропривода інваріантного до знакозмінного навантаження. Наукові нотатки. 2013. № 40. С. 118-123.
11. Polishchuk L., Piontkevych O., Burdeinyi M., Trehubov V. Justification for choosing the type of belt conveyor drive. Journal of Mechanical Engineering and Transport. 2024. No. 1(10). P. 115-122.
12. Піонткевич О. В. та ін. Розрахунок гідродинамічної сили на золотнику врівноважувального клапана на основі імітаційного моделювання течії робочої рідини в його каналах. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2024. № 5. С. 77-83.
13. Козлов Л. Г., Ковальчук В. А., Піонткевич О. В., Коріненко М. П. Дослідження статичних і динамічних характеристик систем керування гідроапаратами на основі пропорційних електромагнітів. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2014. № 3. Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/download/416/414>

14. Березюк О. В. Визначення параметрів впливу на частку диференційовано зібраних твердих побутових відходів. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2011. № 5. С. 154-156.
15. Березюк О. В. Моделювання ефективності видобування звалищного газу для розробки обладнання та стратегії поводження з твердими побутовими відходами. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2013. № 6. С. 21-24.
16. Березюк О. В. Розробка математичної моделі прогнозування питомого потенціалу звалищного газу. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2013. № 2. С. 39-42.
17. Березюк О. В. Виявлення параметрів впливу на питомий об'єм видобування звалищного газу. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2012. № 3. С. 20-23.
18. Березюк О. В. Моделювання поширеності способів утилізації звалищного газу для розробки обладнання та стратегії поводження з твердими побутовими відходами. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2014. № 5. С. 65-68.
19. Wójcik W. et al. Mechatronic Systems 1: Applications in Transport, Logistics, Diagnostics and Control. London, New York: Taylor & Francis Group, 2021. 306 p.
20. Azarenkov V. et al. Modern teaching methods in pedagogy and philology. Primedia eLaunch, 2023. 580 p.

Яровий Роман Сергійович – студент групи ІПО-23б, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: roman4wm@gmail.com

Науковий керівник: **Березюк Олег Володимирович** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: berezyukoleg@i.ua

Roman S. Yarovy – student of group IPO-23b, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: roman4wm@gmail.com

Supervisor: **Oleh V. Bereziuk** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Life Safety and Safety Pedagogy, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: berezyukoleg@i.ua