

АНОТАЦІЯ

Фатеева Л. Ю. Удосконалення методів оцінювання ризиків безпеки праці на виробництві з застосуванням функціонально-залежних статистик. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка. – Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Харків, 2025.

Об'єктом дослідження є оцінювання ризиків безпеки праці на виробництві.

Предметом дослідження є застосування функціонально-залежних статистик для удосконалення методів оцінювання ризиків безпеки праці на виробництві.

Метою дослідження є удосконалення методів оцінювання ризиків безпеки праці, враховуючи нелінійні функціональні залежності, які впливають на отримання нових чисельних значень оцінок на безрозмірній шкалі та дозволять ефективно використовувати функціонально-залежні статистики для визначення ризиків професійних захворювань.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше розроблено кількісно-вербальну матрицю з використанням функціональної залежності - функції помилок, яка дозволяє перевести різні варіанти вербальних оцінок у кодовану чисельну безрозмірну шкалу. Це дозволить отримувати числові оцінки функціонування системи безпеки праці на виробництві у кількісному вираженні та отримувати інформацію що до управління.

Вперше отримано функцію щільності оцінок одиничних показників безпеки праці на безрозмірній шкалі, застосовуючи функціональну залежність, яка дозволила знайти імовірності ризиків попадання виміряного значення у будь який інтервал оцінювання за умови, що закон розподілу числових значень одиничних показників безпеки праці відповідає нормальному закону. Це

дозволило розробити методику оцінювання ризиків та застосовувати для будь-яких типів виробництва та підприємств.

Вперше отримано функцію щільності оцінок одиничних показників безпеки праці на безрозмірній шкалі, застосовуючи функціональну залежність, яка дозволила знайти імовірності ризиків попадання виміряного значення у будь-який інтервал оцінювання за умови, що закон розподілу числових значень одиничних показників безпеки праці відповідає рівномірному закону розподілу.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі дисертаційної роботи, визначено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, подано загальну характеристику роботи.

У першому розділі проведено аналіз існуючих наукових підходів до кількісного оцінювання якості як об'єктів кваліметрії різної природи, так і процесів та систем, серед яких системи забезпечення безпекою праці. Розглянуто ряд сучасних наукових робіт, пов'язаних з оцінюванням якості, процесів та послуг, визначено їх недоліки та можливі межі застосування.

Науковцями **Error! Reference source not found.** встановлено, що планування заходів і розподіл ресурсів на потреби охорони праці вимагають застосування спеціальних математичних методів, що дозволяють оцінити наслідки управлінських рішень. Після аналізу сучасних проблем управління охороною праці на машинобудівних підприємствах у контексті ринкових умов, автори доводять, що для успішної реалізації державної політики в сфері охорони праці необхідно впроваджувати науковий підхід до управління процесом поліпшення умов та безпеки праці. За думкою авторів, невизначеність ситуації у сфері охорони праці обумовлена великою кількістю чинників, що впливають на неї, які неможливо передбачити точно, а також відсутністю чітко визначених цілей і критеріїв для їхньої оцінки.

З аналізу наукових робіт видно, що в публікаціях відсутній обґрунтований математичний апарат, рішення приймають експерти та немає єдиного підходу до оцінювання небезпеки. В якості математичного аналізу використовуються регресійні моделі, які не ефективні для вирішення задач забезпечення безпечних умов праці, а наукові підходи носять організаційний характер.

З аналізу наукових публікацій зрозуміло, що європейська законодавча база з охорони праці створює можливість забезпечити належний рівень безпеки праці. Проте важливо підкреслити, що кожна країна повинна самостійно вирішувати це питання, тому в Україні необхідно активізувати роботу з узгодженням вимог, законів та нормативно-правових актів у відповідності до директив Європейського Союзу. Принцип Європейського законодавства, що визначає необхідність прийняття рішень щодо поліпшення умов праці на основі обставин безпосередньо на робочому місці, залишається актуальним і для України.

Згідно з вказівками Європейської комісії з соціальних питань, гігієно-епідеміологічні дослідження є важливим інструментом для оцінювання якості робочого життя. Тому актуальним є визначення основних чинників, що впливають на стан здоров'я населення регіону, зокрема машинобудівної промисловості, з урахуванням промислових, екологічних і соціально-економічних показників. Необхідно розробити модель оцінювання ризиків для окремих професій машинобудівної галузі та обґрунтувати комплексну систему профілактичних заходів для зменшення захворюваності машинобудівників та непрацюючого населення регіону з розвиненою промисловістю.

На основі аналізу нормативних документів та науково-технічної літератури вивчено проблему комплексного оцінювання безпеки та гігієни праці у виробничих приміщеннях, проведено критичний аналіз існуючих підходів до її вирішення. Проведено аналіз сучасних наукових досліджень стосовно оцінювання безпеки та гігієни праці кількісної оцінки ризиків небезпеки та методик ідентифікації небезпек та оцінювання професійних ризиків. Розглянуто ряд наукових дисертацій, в яких досліджуються кваліметричні підходи до оцінювання безпеки та гігієни праці та виявлено їх недоліки.

У другому розділі дисертації розглядається система управління безпекою праці на підприємстві, як складна система. Тому пропонується отримати комплексну оцінку її якості. Для цього пропонується застосовувати вербальні шкали, так як оцінку одиничних показників якості можливо отримати методом опитування працівників даного підприємства. Для опрацювання результатів опитування пропонується, щоби усі результати мали єдину шкалу оцінювання у

числовому вираженні. Так як результати опитування мають якісне вираження, тобто наносяться на вербальні шкали, то необхідна функціональна залежність, яка дасть можливість перетворювати вербальні шкали з різним діапазоном та кроком в єдину безрозмірну шкалу та отримувати оцінки результатів опитування у цифровому вираженні.

У якості функціональної залежності пропонується використовувати Функцію помилок, яка має параметр форми і параметр зсуву (масштабу). Також запропоновано методика отримання кількісних оцінок системи управління гігієною та безпекою праці з великою кількістю показників. Ця методика дозволяє застосовувати широкий спектр математичних інструментів для оцінювання та прийняття управлінських рішень. При цьому вирішено низку наукових завдань:

- розробили кількісно-вербальну матрицю, яка дозволяє перевести різні варіанти вербальних оцінок у кодовану чисельну шкалу. Матриця передбачає застосування вербальних шкал із кількістю варіантів оцінок (від 2 до 7), що робить її універсальною;

- отримали чисельні значення узагальнених багатокритеріальних оцінок тестів працівників машинобудівного підприємства та системи забезпечення безпечних умов праці на підприємстві в межах репрезентативної вибірки;

- знайшли комплексну оцінку системи управління безпекою праці на машинобудівному підприємстві.

Розроблена методика дає можливість отримувати чисельні значення вербальних оцінок, що дозволяє застосовувати методи математичної статистики для вирішення практичних завдань з управління в системах управління гігієною та безпекою праці на виробництві. Розроблена методика апробована на машинобудівному підприємстві. Внаслідок застосування методики отримано комплексну оцінку системи управління безпекою праці.

Наукова цінність запропонованої методики полягає в її універсальності. Її можна застосовувати для оцінювання умов праці на виробництвах різних галузей з різною кількістю шкідливих чинників з різним діапазоном їх вимірювання. Крім цього, фактори можуть мати різні шкали вимірювань. Можуть бути

визначені законодавчими або корпоративними вимогами підприємства. Також вони можуть переглядатися і змінюватися з метою ефективного управління системою безпеки праці. Обмеженнями даної методики є застосування оцінюючи тих чинників, які мають кількісну оцінку. Розробка методики із застосуванням вербальних шкал та якісних оцінок буде метою наступних досліджень.

За допомогою запропонованої методики можна приймати управлінські рішення, які призводять до мінімізації ризиків і нещасних випадків. Запропонована методика має універсальний характер, так як її можна застосувати для оцінювання системи управління безпекою праці в різних організаціях.

У третьому розділі пропонується методика визначення комплексної оцінки умов праці, яка складається з ряду кроків. Для підтвердження працездатності методики з оцінювання безпеки праці було проведено дослідження на машинобудівному підприємстві. Для оцінювання розглядалися шкідливі виробничі чинники у цеху. Визначили, що у цеху основними шкідливими виробничими чинниками є: мікроклімат (температура повітря, відносна вологість повітря, швидкість руху повітря), шум, локальна вібрація.

Проведений вимірювальний експеримент підтвердив, що числові значення будь яких небезпечних чинників, що впливають на здоров'я людей мають статистичні характеристики, такі як середнє арифметичне значення та розмах. Тому, для управління та мінімізації їх впливу на здоров'я людей, потрібні додаткові дослідження щодо оцінювання ризиків, застосовуючи статистичні методи.

Кожен з чинників має різний діапазон допустимих норм та різні одиниці вимірювання, що затрудняє визначити комплексний показник безпеки праці. Тому необхідно привести усі різнорозмірні чинники у безрозмірну величину. Для цього пропонується застосувати нелінійну функцію (математичну залежність), яка буде перетворювати виміряні чинники у безрозмірні значення у діапазоні (0, 1). У якості математичної залежності пропонується застосувати функцію помилок, що є неелементарною та застосовується у математичній

статистиці та математичній фізиці для вирішення деяких практичних завдань.

Для комплексного оцінювання безпеки праці на виробництві пропонується застосовувати кваліметричні методи, а саме, визначати оцінку по кожному шкідливому і небезпечному виробничому чиннику а, потім, визначати єдину комплексну оцінку умов праці. Запропоновано методику визначення комплексного показника безпеки праці, застосовуючи чисельне інтегрування методом середніх прямокутників. Запропоновану методику можна вважати універсальною, оскільки її можна застосовувати для будь яких приміщень та підприємств.

У четвертому розділі дисертації розглядається один із важливих показників якості життя – безпека праці. Особливо важливим являється оцінювати безпеку праці на виробництві, або при виконанні шкідливих для здоров'я та життя робіт. Так як більшість людей значну частину свого життя проводять на робочому місці, при виконанні своїх службових обов'язків, то існує ризик впливу умов праці на їх здоров'я. Міжнародні організації акцентують свою увагу на постійному контролі впливу шкідливих чинників на здоров'я людини, а саме ООН, у своїй концепції «Сталий розвиток людства», розглядає безпеку праці важливим показником якості життя, а міжнародна організація зі стандартизації (ISO) розробила ряд стандартів, які мають відношення до оцінювання ризиків (ISO 31000:2018, IDT; ISO 31010:2013, IDT), систем управління якістю (ISO 9001:2015, IDT). та системи управління охороною здоров'я та безпекою праці (ISO 45001:2018, IDT).

Управління ризиком включає розроблення та реалізацію економічно обґрунтованих для даного промислового підприємства рекомендацій і заходів, спрямованих на зменшення вихідного рівня ризику до прийняттого фінального рівня. Воно спирається на результати оцінки ризику, техніко- економічний і техніко-технологічний аналіз потенціалу та середовища функціонування підприємства, чинну і прогнозовану базу господарювання та різні дослідження. Об'єктом оцінки та управління ризиком мають бути стратегічні рішення в масштабах підприємства, стратегічний план. І не останнє місце в них має відводитися функціонуванню та розвитку системи управління охороною праці.

Результати дослідження методологічних проблем оцінки виробничих ризиків на підприємстві вказують на завдання управління охороною праці та ризиком, основними з яких мають бути: навчання працівників безпечним методам праці з одночасним вихованням у них психології безпеки; запобігання неприпустимим професійним ризикам на робочих місцях; створення положення щодо порядку їх ідентифікації, оцінки та усунення; атестація робочих місць за картками умов праці та картками ідентифікації, оцінки й усунення неприпустимих професійних ризиків.

Для отримання оцінок впливаючих чинників на безрозмірній шкалі запропоновано застосовувати функцію помилок, яка являється стандартною, та є вбудованою в Microsoft Excel, що підтверджує її достовірність. Для її модернізації введені коефіцієнти, які дозволили застосовувати її для оцінювання і отримувати оцінки у діапазоні (0-1).

Визначили функцію щільності на безрозмірній шкалі, яка являється імовірностями ризиків попадання виміряного значення чинника у будь який інтервал від 0 до 1 за умові, що закон розподілу випадкових факторів являється нормальним.

Визначили функцію щільності функціонально залежних випадкових величин оцінок показників якості за умови, що показники якості підпорядковуються рівномірному закону розподілу. Проведено апробацію методу та визначено ймовірності потрапляння випадкових величин у заданий інтервал оцінювання

Ключові слова: якість, оцінки показників якості, комплексний показник якості, кваліметрія, кваліметричні методи, об'єкт кваліметрії, багатокритеріальне оцінювання, безпека, безпека праці, функція помилок, ризик, оцінювання ризиків.

ABSTRACT

Fatieieva L. Y. Improvement of methods for assessing occupational safety risks at work using functionally dependent statistics. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in speciality 152 - Metrology and Information and Measuring Technology - Educational and Research Institute 'Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy' of V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, 2024.

The object of the research is the assessment of occupational safety risks at work.

The subject of the research is the use of functionally dependent statistics to improve methods for assessing occupational safety risks at work.

The purpose of the study is to improve methods for assessing occupational safety risks, taking into account nonlinear functional dependencies that affect the obtaining of new numerical values of estimates on a dimensionless scale and will allow the effective use of functionally dependent statistics to determine the risks of occupational diseases.

Scientific novelty of the results.

For the first time, a quantitative-verbal matrix has been developed using a functional dependence - the error function, which allows to translate different variants of verbal assessments into a coded numerical dimensionless scale. This will make it possible to obtain numerical estimates of the functioning of the occupational safety system in quantitative terms and to obtain information on management.

For the first time, the density function of estimates of single indicators of occupational safety on a dimensionless scale was obtained using a functional dependence that allowed us to find the probabilities of the risk of the measured value falling into a bad interval of estimation, provided that the law of distribution of numerical values of single indicators of occupational safety corresponds to the normal law. This made it possible to develop a risk assessment methodology that can be applied to any type of production and enterprise.

For the first time, a density function of estimates of single occupational safety indicators on a dimensionless scale was obtained using a functional dependence that allowed us to find the probabilities of the measured value falling into a bad interval of estimation, provided that the law of distribution of numerical values of single occupational safety indicators follows a uniform distribution law.

The introduction substantiates the relevance of the topic, formulates the purpose and objectives of the dissertation, defines the scientific novelty and practical value of the results obtained, and provides a general description of the work.

The first chapter analyzes the existing scientific approaches to quantitative quality assessment of both qualimetry objects of various nature and processes and systems, including occupational safety systems. A number of modern scientific works related to the assessment of quality, processes and services are considered, their shortcomings and possible limits of application are identified.

The researchers have established that planning of activities and allocation of resources for occupational health and safety requires the use of special mathematical methods to assess the consequences of management decisions. After analyzing the current problems of occupational health and safety management at machine-building enterprises in the context of market conditions, the authors argue that for the successful implementation of the State policy in the field of occupational health and safety, it is necessary to introduce a scientific approach to managing the process of improving working conditions and safety. According to the authors, the uncertainty of the situation in the field of labor protection is due to a large number of factors affecting it, which cannot be predicted accurately, as well as the lack of clearly defined goals and criteria for their evaluation.

The analysis of scientific papers shows that publications lack a sound mathematical apparatus, decisions are made by experts, and there is no single approach to hazard assessment. Regression models are used as a mathematical analysis, which are not effective for solving problems of ensuring safe working conditions, and scientific approaches are of an organizational nature.

From the analysis of scientific publications, it is clear that the European legislative framework on occupational safety and health creates an opportunity to

ensure an appropriate level of occupational safety. However, it is important to emphasize that each country must solve this issue independently, so Ukraine needs to intensify work on harmonizing requirements, laws and regulations in accordance with EU directives. The principle of European legislation that requires decisions on improving working conditions to be made on the basis of circumstances at the workplace remains relevant for Ukraine as well.

According to the guidelines of the European Commission on Social Affairs, hygiene and epidemiological studies are an important tool for assessing the quality of working life. Therefore, it is important to identify the main factors affecting the health of the population of the region, in particular the machine-building industry, taking into account industrial, environmental and socio-economic indicators. It is necessary to develop a risk assessment model for individual professions in the machine-building industry and to substantiate a comprehensive system of preventive measures to reduce the incidence of morbidity among machine-builders and the non-working population of a region with a developed industry.

Based on the analysis of regulatory documents and scientific and technical literature, the problem of comprehensive assessment of occupational safety and health in production facilities is studied, and a critical analysis of existing approaches to its solution is carried out. The author analyzes current scientific research on the assessment of occupational safety and health, quantitative hazard risk assessment, and methods of hazard identification and occupational risk assessment. A number of scientific dissertations investigating qualimetric approaches to assessing occupational safety and health are considered and their shortcomings are identified.

The second chapter of the dissertation considers the system of occupational safety management at an enterprise as a complex system. Therefore, it is proposed to obtain a comprehensive assessment of its quality. For this purpose, it is proposed to use verbal scales, since the assessment of individual quality indicators can be obtained by interviewing employees of the enterprise. To process the results of the survey, it is proposed that all results should have a single rating scale in numerical terms. Since the results of the survey have a qualitative expression, i.e., they are applied to verbal scales, a functional dependence is needed that will allow converting verbal scales with

different ranges and steps into a single dimensionless scale and obtaining estimates of the survey results in digital terms.

As a functional dependency, it is proposed to use the Error Function, which has a shape parameter and a shift (scale) parameter. A methodology for obtaining quantitative assessments of the occupational health and safety management system with a large number of indicators is also proposed. This methodology allows the use of a wide range of mathematical tools for evaluation and management decision-making. A number of scientific tasks have been solved:

- developed a quantitative-verbal matrix that allows for the translation of different verbal assessment options into a coded numerical scale. The matrix provides for the use of verbal scales with a number of rating options (from 2 to 7), which makes it universal;

- obtained numerical values of generalized multicriteria assessments of tests of employees of an engineering enterprise and the system of ensuring safe working conditions at the enterprise within a representative sample;

- a comprehensive assessment of the occupational safety management system at an engineering enterprise was found.

The developed methodology makes it possible to obtain numerical values of verbal assessments, which allows the use of mathematical statistics methods to solve practical management problems in occupational health and safety management systems. The developed methodology has been tested at an engineering enterprise. As a result of applying the methodology, a comprehensive assessment of the occupational safety management system was obtained.

The scientific value of the proposed methodology lies in its versatility. It can be used to assess working conditions in industries of different sectors with a different number of harmful factors and a different range of their measurement. In addition, factors may have different measurement scales. They can be determined by legal or corporate requirements of the enterprise. They can also be reviewed and changed in order to effectively manage the occupational safety system. The limitations of this methodology are the use of factors that are quantified. The development of a methodology using verbal scales and qualitative assessments will be the goal of further

research.

The proposed methodology can be used to make management decisions that lead to minimization of risks and accidents. The proposed methodology is universal in nature, as it can be used to assess the occupational safety management system in various organizations.

The third chapter proposes a methodology for determining a comprehensive assessment of working conditions, which consists of a number of steps. To confirm the efficiency of the methodology for assessing occupational safety, a study was conducted at a machine-building enterprise. For the purpose of the assessment, we considered harmful production factors in the shop. It was determined that the main harmful production factors in the shop are: microclimate (air temperature, relative humidity, air velocity), noise, local vibration.

The measurement experiment confirmed that the numerical values of any hazardous factors affecting human health have statistical characteristics, such as the arithmetic mean and range. Therefore, to manage and minimize their impact on human health, additional research is needed to assess risks using statistical methods.

Each of the factors has a different range of permissible norms and different units of measurement, which makes it difficult to determine a comprehensive indicator of occupational safety. Therefore, it is necessary to bring all multidimensional factors to a dimensionless value. To do this, it is proposed to use a nonlinear function (mathematical dependence) that will convert the measured factors into dimensionless values in the range $(0, 1)$. As a mathematical dependence, it is proposed to use the error function, which is non-elementary and is used in mathematical statistics and mathematical physics to solve some practical problems.

For a comprehensive assessment of occupational safety at work, it is proposed to apply qualimetric methods, namely, to determine the assessment for each harmful and dangerous production factor and, then, to determine a single comprehensive assessment of working conditions. The article proposes a methodology for determining a comprehensive indicator of labor safety using the numerical integration by the method of average rectangles. The proposed methodology can be considered universal, since it can be applied to any premises and enterprises.

The fourth chapter of the thesis discusses one of the most important indicators of quality of life - occupational safety. It is especially important to assess labor safety at work, or when performing work that is harmful to health and life. Since most people spend a significant part of their lives in the workplace, performing their duties, there is a risk that working conditions may affect their health. International organizations focus on continuous monitoring of the impact of harmful factors on human health, namely, the UN, in its concept of "Sustainable Development of Humanity", considers occupational safety an important indicator of quality of life, and the International Organization for Standardization (ISO) has developed a number of standards related to risk assessment (ISO 31000:2018, IDT; ISO 31010:2013, IDT), quality management systems (ISO 9001:2015, IDT) and occupational health and safety management systems (ISO 45001:2018, IDT).

Risk management involves the development and implementation of economically feasible recommendations and measures for a given industrial enterprise aimed at reducing the initial risk level to an acceptable final level. It is based on the results of risk assessment, technical, economic, technical and technological analysis of the enterprise's potential and environment, current and projected business base, and various studies. The object of risk assessment and management should be strategic decisions on an enterprise-wide scale and a strategic plan. And not the least place in them should be given to the functioning and development of the occupational health and safety management system.

The results of the study of methodological problems of assessing occupational risks at an enterprise indicate the tasks of occupational safety and risk management, the main of which should be: training employees in safe working methods while educating them in safety psychology; prevention of unacceptable occupational risks in the workplace; creation of regulations on the procedure for their identification, assessment and elimination; certification of workplaces according to working conditions cards and cards for identification, assessment and elimination of unacceptable occupational risks.

To obtain estimates of the influencing factors on a dimensionless scale, it is proposed to use the error function, which is standard and built into Microsoft Excel,

which confirms its reliability. To modernize it, we introduced coefficients that allowed us to use it for evaluation and obtain estimates in the range (0-1).

The density function was determined on a dimensionless scale, which is the probability of the risk of the measured value of a factor falling into a poor interval from 0 to 1, provided that the law of distribution of random factors is normal.

The density function of functionally dependent random variables of quality indicators estimates is determined, provided that the quality indicators follow a uniform distribution law. The method was tested and the probabilities of random variables falling into a given evaluation interval were determined

Keywords: quality, assessment of quality indicators, complex quality indicator, qualimetry, object of qualimetry, multicriteria assessment, occupational safety, error function, functionally dependent statistics.