УДК 69.05:658.382

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМ РИЗИКОМ

ГУНЧЕНКО О. М.[1*], *к. т. н., доц.,*
БЄЛІКОВ А. С.[2], *д. т. н., проф.,*
КАСЬЯНОВ М. А.[3], *д. т. н., проф.,*
ШАЛОМОВ В. А.[4], *к. т. н., доц.,*
СТЕФАНОВИЧ П. І.[5], *асист.*

[1*] Кафедра фізичного виховання та охорони праці, Державний університет телекомунікацій, вул. Солом'янська, 7, Київ, 03680, Україна, тел.:+38(044)2492533, e-mail: oks-gunchenko@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-5769-2496
[2] Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682
[3] Кафедра охорони праці і навколишнього середовища, Національний університет будівництва та архітектури, пр. Повітрофлотський, 31, Київ, 03680, Україна, тел. +38(044)2449614, e-mail: kaflab241ecolog@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6034-4062
[4] Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov_v_a@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X
[5] Кафедра охорони праці і навколишнього середовища, Національний університет будівництва та архітектури, пр. Повітрофлотський, 31, Київ, 03680, Україна, тел. +38(044)2449614, e-mail: kaflab241ecolog@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9733-3618

Анотація. ***Постановка проблеми.*** Неминучість значних аварій у наш час викликана появою у виробництві складних технічних систем. Необхідно розробляти заходи з безпечної експлуатації таких систем ще на етапі їх проектування з урахуванням різноманітних статистичних даних щодо виникнення надзвичайних ситуацій. ***Методика***. У процесі аналізу виробничого ризику виникає необхідність у розробці моделі оцінки його кількісних показників із використанням таких положень: визначальним є базування на понятті випадковості події або наслідків, характерних для технічної системи; важливою складовою є наявність статистичної інформації про можливість настання, ступінь значущості і потенційні наслідки кожної з випадкових подій; врахування того, що у процесі прийняття рішень стосовно стану і функціонування технічних систем на основі зазначеної інформації остання обов'язково матиме складову, яка її викривляє. ***Результати.*** Встановлено, що аналіз методів оцінювання ризику і прийняття рішень в умовах невизначеності показує наявність не однакового трактування терміна «ризик» у різних дослідженнях. Для формалізації ризику поширилося використання моделі, яка пов'язує між собою імовірність виникнення негативної події (небезпечної, критичної або аварійної ситуації, катастрофи) й імовірну величину можливих її наслідків у разі реалізації. Важливою обставиною є те, що у цій моделі, крім імовірності, яка чисельно показує можливість здійснення негативної події, пов'язаної з невизначеною ситуацією, присутня і величина можливих її наслідків. Остання ж залежить не тільки від матеріальних (цінності зруйнованого майна, обладнання, споруд і т. ін.) та моральних втрат (кількості травмованих, загиблих). На неї впливає також ступінь вразливості технічної системи від такої події, або імовірність її уникнення чи ненастання, та загальний умовний збиток, який зумовлюється ступенем тяжкості ризику. Тому визначати імовірну величину можливих наслідків необхідно з урахуванням цих складових. ***Наукова новизна.*** Обгрунтоване оцінювання виробничого ризику, доцільність використання багатовимірної моделі аналізу умов праці, на основі поділу за вагою параметрів наявних шкідливих та небезпечних виробничих чинників на дві канонічні величини – за одиницями вимірювання та їх частками до гранично допустимих концентрацій. ***Практична значимість.*** Доведено можливість під час дослідження й оцінювання виробничого ризику враховувати умови праці у конкретному виробництві із зазначенням фактичних вимірів (або розрахункових значень, отриманих на стадії проектування) параметрів конкретних чинників, характерних для нього, переведенням їх з існуючих одиниць вимірювання у частки гранично допустимих концентрацій і визначенням їх ваги у канонічних величинах. Такий підхід до методології оцінки виробничого ризику забезпечує виконання вимог, наведених у Державних санітарних нормах та правилах «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», про те, що гігієнічне оцінювання професійного ризику повинне проводитися з урахуванням величини експозиції цих факторів, показників стану здоров'я працівника та втрати ним працездатності.

Ключові слова: ризик; імовірність; шкідливі та небезпечні виробничі чинники; математична модель; методика; відмови

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ РИСКОМ

ГУНЧЕНКО О. Н. [1*], *к. т. н., доц.,*
БЕЛИКОВ А. С. [2], *д. т. н., проф.,*

КАСЬЯНОВ Н. А. [3], *д. т. н., проф.,*
ШАЛОМОВ В. А. [4], *к. т. н., доц.,*
СТЕФАНОВИЧ П. И. [5], *ассист.*

[1*] Кафедра физической культуры и охраны труда, Государственный университет телекоммуникаций, ул. Соломенская, 7, Киев, 03680, Украина, тел.:+38 (044) 249-25-33, e-mail: oks-gunchenko@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-5769-2496
[2] Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682
[3] Кафедра охраны труда и окружающей среды, Национальный университет строительства и архитектуры, пр. Воздухофлотский, 31, Киев, 03680, Украина, тел. +38 (044) 244-96-14, e-mail: kaflab241ecolog@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6034-4062
[4] Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov_v_a@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X
[5] Кафедра охраны труда и окружающей среды, Национальный университет строительства и архитектуры, пр. Воздухофлотский, 31, Киев, 03680, Украина, тел. +38 (044) 244-96-14, e-mail: kaflab241ecolog@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9733-3618

Аннотация. ***Постановка проблемы.*** Неизбежность крупных аварий в наше время вызвана появлением в производстве сложных технических систем. Необходимо разрабатывать меры по безопасной эксплуатации таких систем еще на этапе их проектирования с учетом разнообразных статистических данных о возникновении чрезвычайных ситуаций. ***Методика.*** В процессе анализа производственного риска возникает необходимость в разработке модели оценки его количественных показателей с использованием следующих положений: определяющим является базирование на понятии случайности события или последствий, характерных для технической системы; важной составляющей − наличие статистической информации о возможности наступления, степени значимости и потенциальных последствиях каждого из случайных событий; учета того, что в процессе принятия решений относительно состояния и функционирования технических систем на основе указанной информации последняя обязательно будет иметь составляющую, которая ее искажает. ***Результаты***. Установлено, что анализ методов оценки риска и принятия решений в условиях неопределенности показывает наличие не одинаковой трактовки термина «риск» в различных исследованиях. Для формализации риска распространилось использование модели, которая связывает между собой вероятность возникновения негативного события (опасной, критической или аварийной ситуации, катастрофы) и возможную величину возможных ее последствий при реализации. Важным обстоятельством является то, что в этой модели, кроме вероятности, численно показывающей возможность осуществления негативного события, связанного с неопределенной ситуацией, присутствует и величина возможных его последствий. Последняя же зависит не только от материальных (ценности разрушенного имущества, оборудования, сооружений и т. д.) и моральных потерь (количества травмированных, погибших). На нее влияет также степень уязвимости технической системы от такого события, или вероятность ее избежания или ненаступления, и общий условный убыток, который определяется степенью тяжести риска. Поэтому определять вероятную величину возможных последствий необходимо с учетом этих составляющих. ***Научная новизна.*** Обоснована, для оценки производственного риска, целесообразность использования многомерной модели анализа условий труда на основе распределения по весу параметров имеющихся вредных и опасных производственных факторов на две канонические величины – по единицам измерения и их долям к предельно допустимым концентрациям. ***Практическая значимость.*** Получена возможность при исследовании и оценке производственного риска учитывать условия труда в конкретном производстве с указанием фактических измерений (или расчетных значений, полученных на стадии проектирования) параметров конкретных факторов, характерных для него, переводом их из существующих единиц измерения в весовые доли предельно допустимых концентраций и определением их веса в канонических величинах. Такой подход к методологии оценки производственного риска обеспечивает выполнение требований, представленных в Государственных санитарных нормах и правилах «Гигиеническая классификация труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса» о том, что гигиеническая оценка профессионального риска должна проводиться с учетом величины экспозиции этих факторов, показателей состояния здоровья работника и потери им трудоспособности.

Ключевые слова: риск; вероятность; вредные и опасные производственные факторы; математическая модель; методика; отказы

IMPROVING PROCEDURES FOR ASSESSMENT AND MANAGEMENT PRODUCTION RISKS

GUNCHENKO O.N.[1*], *Cand. Sc.(Tech.), Ass. of Prof.,*
BELYKOV A.S. [2], *Dr. Sc. (Tech.), Prof.,*
KASYANOV N.A.[3], *Dr. Sc. (Tech.), Prof.,*
SHALOMOV V.A.[4], *Cand. Sc.(Tech.), Ass. of Prof.,*
STEFANOVICH P.I.[5], *ass.*

[1] Department of physical education and labor protection, State University of telecommunications, Solomenskaya str., 7, Kyiv, 03680, Ukraine, tel:+38 (044) 249-25-33, e-mail: oks-gunchenko@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-5769-2496
[2] Department of Life Safety, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernyshevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682
[3] Department of labor protection and the environment, National University of construction and architecture, Vozdukhoflotsky av., 31, 03680, Kyiv, Ukraine, tel: +38 (044) 244-96-14, e-mail: kaflab241ecolog@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6034-4062
[4] Department of Life Safety, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernyshevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov_v_a@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X
[5] Department of labor protection and the environment, National University of construction and architecture, Vozdukhoflotsky av., 31, Kyiv, 03680, Ukraine, tel: +38 (044) 244-96-14, e-mail: kaflab241ecolog@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9733-3618

Abstract. ***Statement of the problem.*** On the inevitability of major accidents in our time affects the appearance in the production of complex technical systems, the operation of which shows the need for theoretical and methodological developments that have been brought to the level of engineering recommendations on how these safety systems, as well as their use of employees with their psycho-physiological characteristics and functional reliability. They will develop measures for the safe operation of such systems is still at the design stage taking into account the diverse statistical data on emergency situations. ***Methods.*** In an analysis of operational risk there is a need to develop models for assessing its quantitative indicators with the following provisions: the determining factor is basing on the concept of random events or consequences, characteristic of the technical system; an important component is the availability of statistical information on the probability of occurrence, extent and significance of the potential impacts of each of the random events; taking into account the fact that the decision-making process regarding the status and operation of technical systems on the basis of this information the latter will necessarily have a component that it distorts. ***Results***. It was found that the analysis of risk assessment methods and decision-making under uncertainty shows that there is not the same interpretation of the term "risk" in different studies. To formalize the risk of spread use of the model, which relates the probability of occurrence of adverse events (dangerous, critical or emergency, disaster), and the possible value of the possible consequences of its implementation. An important fact is that in this model, but the probability is numerically shows the possibility of adverse events is associated with the uncertain situation, there is also the value of its possible consequences. The latter depends not only on the material (the value of the destroyed property, equipment, facilities and so on. D.) And moral losses (number of injured, dead). It is influenced by the degree of vulnerability of the technical system of such an event, or the probability of avoiding or non-occurrence, and the total loss of the conditional, which is determined by the severity of risk. Therefore, to determine the possible value of the possible consequences must be based on these components. ***Scientific novelty.*** It is proved, to assess operational risk, the desirability of using multivariate analysis model of working conditions on the basis of the distribution of weight parameters of the existing hazardous production factors on the two canonical values - on units of measurement and their shares to the maximum allowable concentration. ***Practical significance***. This allows for the study and evaluation of occupational hazards to choose the working conditions in a particular production, indicating the actual measurement (or calculated values obtained at the design stage) parameters specific factors specific to him, transfer them from the existing units in the weight proportion of the maximum permissible concentrations and determining their weight at canonical values. This approach to the methodology of operational risk assessment to fully ensure compliance with the requirements provided in the State sanitary norms and rules "Hygiene classification of working in terms of hazards and risks in the industrial environment, the severity and intensity of the work process", that hygienic occupational risk assessment should take into account the exposure level of these factors, health status and disability worker them.

Keywords: risk; likelihood of harmful and dangerous production factors; mathematical model; method; failures

Постановка проблеми

Загальновідомо, що існуючі математичні теорії ризику, які базуються на методах теорії імовірності та математичної статистики, у наш час набули достатньо великого теоретичного і практичного значення через необхідність розв'язання конкретних задач аналізу різнобічних ризикових ситуацій від незначного до катастрофічного рівня, число яких невпинно зростає [1].

Так, за останні 20 років минулого століття виникло 56 % із загальної кількості тільки найбільш значних, зі збитком понад 1 млрд дол., надзвичайних ситуацій (НС) у промисловості і на транспорті [5]. Особливо вражає те, що за 18 років (з 1970 по 1988) було зафіксовано 14 природних і техногенних катастроф зі збитком, не меншим від зазначеного, а за 10 років (з 1989 по 1999) – 32, і тільки за 1999 р. – уже 7.

В останні десятиліття, через прискорений розвиток техногенної сфери і непідготовленість суспільства до захисту від НС у ній, ризик загибелі людини виріс до $R_т = (2…3)\ 10^{-1}$ на 1 000 жителів, що перевищує ризик летального наслідку від усіх видів природних катастроф, який становить $R_п = (0{,}3…0{,}5)\ 10^{-1}$ [2].

Це зростання свідчить про невідповідність застарілого ставлення, через повільний перегляд існуючих суспільних уявлень, до вдосконалення методів і засобів безпеки виробничих процесів. Особливо це помітно в Україні, в якій у різних галузях вона є нижчою від 3…5 до 7…11 разів у порівнянні з розвинутими країнами.

Причому для деяких управлінців і роботодавців з'явилася «беззаперечна» аргументація у зв'язку з упровадженням в основу безпеки життєдіяльності у західних країнах концепції «прийнятного ризику», яка базується на тому, що в даних умовах розвитку не існує абсолютно безпечних видів людської діяльності. Тому їм простіше і менш витратно, в умовах діючого законодавства, сплачувати штрафи за незадовільні умови праці та відшкодовувати працівникам збитки, завдані у результаті нещасних випадків і професійних захворювань.

Аналіз останніх досліджень, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Деякі работодавці не бажають переоснащувати обладнання, не тільки застаріле, а й украй зношене. Через це показники травматизму в Україні залишаються високими.

Але необхідно мати на увазі також і те, що не всі роботодавці об'єктивно спроможні створити високу культуру безпеки і технологічної дисциплінованості працівників через використання застарілого обладнання, яке до того ж, часто конструктивно недосконале.

Крім того на неминучість значних аварій у наш час впливає поява у виробництві складних технічних систем, експлуатація яких показує необхідність у теоретичних і методологічних розробках, доведених до рівня інженерних рекомендацій щодо надійності як цих систем, так і їх використання працівниками зі своїми психофізіологічними характеристиками і функціональною надійністю [3]. Вони дозволять розробляти заходи з безпечної експлуатації таких систем ще на етапі їх проектування з урахуванням різнобічних статистичних даних щодо виникнення надзвичайних ситуацій. Їх аналіз надає можливість встановлювати і змінювати вимоги до таких конструктивних критеріїв як надійність і безпека, у т. ч. і шляхом використання математичних моделей зміни надійності.

Необхідно врахувати і те, що при порівнянні умов праці операторів однієї професійної категорії, які перебувають у виробничих умовах різних підприємств (або одного і того ж, але у різних цехах чи дільницях), виявляється, що на рівень їх індивідуального ризику впливає також стан обладнання, його відмінність між собою, послідовність операцій у технологічному циклі, будівельно-планувальні особливості приміщення і т. ін. Тобто порушення сукупної дії шкідливих та небезпечних виробничих чинників (ШНВЧ) навколишнього середовища та умов праці для тієї ж професійної категорії працівників змінює і рівень виробничого ризику у межах конкретної професії.

Оскільки останнім часом виникла дискусія з приводу термінів «охорона праці» і «управління професійними ризиками» (зокрема, останній пропонується змінити на «аналіз професійного ризику об'єкта») як процес ідентифікації ШНВЧ і оцінювання ризику ушкодження здоров'я для персоналу на конкретному об'єкті, необхідно зауважити, що метою кожного такого «аналізу» є розроблення заходів для зниження ризику, тобто таких, за допомогою яких здійснюється управління (зміна) їх величиною.

У наш час не викликає сумніву те, що проблема визначення більш-менш об'єктивних кількісних показників стану охорони праці, небезпеки виробничих процесів і надійності функціонування системи «людина − машина − середовище» є актуальною та пов'язаною з удосконаленням існуючих методів і засобів на основі однакового і зрозумілого в практичних умовах, незалежно від специфіки виробництва, системного підходу. Останній повинен базуватися на оцінці ризику, не тільки як на методі управління безпекою, а і як на засобі впровадження розроблених заходів із попередження, зменшення або ліквідації ШНВЧ.

Як відомо [8], такий підхід, завдяки міжнародному стандарту IEC 61882:2001 «Дослідження небезпеки і працездатності (HAZOP). Керівництво до застосування» за методами HAZOP (аналіз небезпек і працездатності) та HAZID (ідентифікація небезпек) успішно застосовується у нафтогазовій промисловості. Але і він потребує удосконалення та спрощення шляхом розроблення і використання критеріїв визначення ШНВЧ для оцінювання соціальної та економічної ефективності заходів у зазначеній системі управління ризиками, які повинні обов'язково враховуватись у виробничих умовах і базуватися на:

– не тільки виборі, використанні і вивченні існуючих методів аналізу ризикотворних чинників, а і на їх удосконаленні шляхом визначення з них тих, що суттєво впливають на показники ризику;

– обґрунтуванні доцільності і необхідності визначення і дослідження показників виробничого ризику;

– вивченні, удосконаленні і впровадженні методів визначення ризику;

– розробленні заходів із попередження виникнення ризикотвірних чинників, їх упровадженні, моніторингу і коригуванні.

У процесі аналізу виробничого ризику виникає необхідність у розробленні моделі оцінювання його кількісних показників із застосуванням таких базових положень:

– визначальним є базування на понятті випадковості події, або наслідків, характерних для технічної системи упродовж конкретного часового періоду або у заданому часовому сегменті;

– важливою складовою є наявність статистичної інформації про можливість настання, ступінь значущості і потенційні наслідки кожної з випадкових подій;

– урахування того, що у процесі прийняття рішень стосовно стану і функціонування технічних систем на основі зазначеної інформації остання обов'язково буде мати складову, яка її викривляє, і тому справжні значення показників ризику будуть відрізнятися від визначених.

Не викликає сумніву те, що якість урахування останнього положення, у першу чергу, залежить від точності і повноти інформаційно-вимірювальних систем контролю та кількості параметрів, що піддаються останньому. Відомо, що у даний час такі системи мають погрішності, а оскільки не всі їх параметри контролюються, то можлива поява одновимірного або багатовимірного некерованого чи випадкового процесу, який здатен змінити стан технічного об'єкта, використання якого піддається оцінюванню за ризикотвірними чинниками.

Мета роботи

Якщо брати до уваги те, що останніми роками серед основних причин нещасних випадків і

травматизму, крім відомих організаційних і технічних, третє місце почали посідати психофізіологічні, які належать до людського ризику, виникає необхідність у більш поглибленому аналізі останніх для визначення не тільки якісної і кількісної різниці між технічною системою і людиною, а й у систематизації хоча б і часткових аналогій між ними, наприклад, під час здійснення механічних рухів і тощо.

Враховуючи те, що людина-оператор направляє свої зусилля на виконання відповідних виробничих завдань в умовах існуючої невизначеності, коли їй необхідно постійно приймати рішення у конкретних умовах здійснення технологічного циклу з метою коригування умов його перебігу, зрозумілими стають причини виникнення людських (операторських) ризиків. За умови їх параметризації з'являється можливість, завдяки існуючим статистичним показникам, застосовувати для обґрунтування людських відмов математичні, а саме імовірнісні підходи. Вони сприятимуть більш повній і точній оцінці ризику виникнення небезпечної, критичної чи аварійної ситуації на основі як технічних, так і людських відмов, що є метою дослідження. Важливість цієї проблеми зумовлюється і тим, що останнім часом різко зросла їх вартість під час експлуатації технічних систем у будь-якій сфері, наприклад, в авіації через помилки операторів і, особливо, за впливу погодних умов, виникає близько 66 % з усіх аварійних ситуацій.

Результати дослідження

За даними [5] відомо, що ризик втрат, які виникають під час створення й експлуатації технічних процесів, систем і об'єктів, належить до технічного його різновиду, що має достатньо багато параметрів і критеріїв, які характеризують різні стани життєвого циклу цих об'єктів. Причому, незважаючи на те, що у процесі визначення, аналізу й управління ризиком серед факторів, які збурюють і відхиляють функціонування таких систем від нормального стану внаслідок дії власних законів розподілення із припустимими межами значень параметрів і подій, як найважливіші необхідно виділяти економічність і безпеку.

Поняття «професійний ризик» у нормативних документах визначається як імовірність спричинення шкоди здоров'ю у результаті впливу шкідливих або небезпечних виробничих чинників (ШНВЧ) під час виконання працівником своїх трудових обов'язків.

Зокрема у [4] сказано, що професійний ризик – це величина ймовірності порушення (ушкодження) здоров'я працівника з урахуванням тяжкості наслідків несприятливого впливу факторів виробничого середовища і трудового процесу, а гігієнічне оцінювання професійного ризику проводиться з урахуванням величини експозиції цих факторів, показників стану здоров'я працівника та втрати ним працездатності.

Тобто вона із загальних теоретичних передумов є числовою мірою ступеня об'єктивної можливості настання події, що зумовить такий вплив, наслідками якого можуть бути травми різної тяжкості, у т. ч. і летальні. А отже, цю імовірність $P_{шз}$ за деякий термін часу T можна визначати як суму ймовірностей P_i таких подій [1; 4; 5; 9−11]:

$$P_{ШЗ} = \sum_{1}^{n} P_i, \tag{1}$$

де $P_{ШЗ}$ – імовірність шкоди здоров'ю; i – індекс ступеня його пошкодження; n – загальна кількість таких ступенів.

Але оскільки при цьому визначається імовірність події за конкретний термін часу, як правило – за рік, то така оцінка показує частоту реалізації цієї події. При постійній кількості працівників N у виробничій системі P_i буде дорівнювати:

$$P_i = \frac{K_i}{NT}. \tag{2}$$

Такий підхід до визначення професійного ризику має суттєвий недолік, який полягає у відсутності серед його показників даних щодо тяжкості отриманих травм. Тому кількісно професійний ризик R_n більш доцільно визначати математичним очікуванням потенційної шкоди як суму ймовірностей P_i і зважених оцінок з урахуванням того, що травми, а, відповідно, і їх наслідки, можуть бути рідної тяжкості Z_i. І тоді:

$$R_n = \sum P_i Z_i, \tag{3}$$

де Z_i – кількісна величина збитку від ушкодження через травми i-ї тяжкості.

Це створює можливість визначення професійного ризику як у вартісному вираженні, так і в часі втраченого (скороченого) життя, наприклад за кількістю діб. Проте і такий підхід має свої вади через вплив на рівень професійного ризику факторів, пов'язаних із виробничим середовищем і відповідним впливом на нього роботодавця, психофізіологічними характеристиками працівника, які визначають його індивідуальні якості, а також зовнішніх, що повністю залежать від стану навколишнього виробничого середовища.

За даними [5], ризик – це ситуативна характеристика діяльності людини з управління технічною системою, що відображає невизначеність цієї діяльності і можливі втрати у процесі реалізації цільових завдань. Причому під такими розуміються втрати:

– техніки (зокрема, повна або часткова її поломка), які пов'язані з виходом параметрів її стану за межі допустимих значень;

– фінансові, які є наслідками перших, і зумовлюють неповне або неякісне використання технічних можливостей системи, зокрема, для транспортної – це рух при режимах, не оптимальними за витратами палива;

– пов'язані з людськими жертвами.

Тому для характеристики успішності експлуатації динамічної системи введено поняття її безпеки. І у загальному випадку для аналізу причин виникнення і прояву ризикотвірних чинників необхідно створювати математичні моделі енергетичних та інформаційних процесів, що відбуваються на різних етапах життєвого циклу технічних об'єктів. А рівень достовірності таких моделей повинен визначатися метою аналізу за допомогою математичної теорії [2; 8; 9–11].

Треба мати на увазі, що аналіз методів оцінювання ризику і прийняття рішень в умовах невизначеності показує наявність не однакового трактування терміна «ризик» у різних дослідженнях. Але останнім часом для формалізації ризику R поширилося використання моделі, яка пов'язує між собою імовірність P виникнення негативної події Y (небезпечної, критичної або аварійної ситуації, катастрофи) і ймовірну величину можливих її наслідків Z за умови реалізації [3]:

$$R(Y) = P(Y)\, Z(Y). \quad (4)$$

Важливо те, що у цій моделі, крім імовірності $P(Y)$, яка чисельно показує можливість здійснення негативної події Y, що пов'язана з невизначеною ситуацією, присутня і величина можливих її наслідків $Z(Y)$. Остання ж залежить не тільки від матеріальних (вартості зруйнованого майна, обладнання, споруд і т. ін.) та моральних втрат (кількості травмованих, загиблих). На неї впливає також ступінь вразливості N(Y) технічної системи від такої події, або імовірність її уникнення чи ненастання, та загальний умовний збиток M(Y), який зумовлюється ступенем тяжкості ризику. Тому визначати імовірну величину можливих наслідків Z необхідно з урахуванням цих складових, тобто:

$$Z(Y) = N(Y)\, M(Y). \quad (5)$$

І тоді:

$$R(Y) = P(Y)\, N(Y)\, M(Y). \quad (6)$$

Наслідки збоїв або відмов і їх частота згруповані [3] за статистичними даними, перші – на 6 категорій (табл. 1), а друга – на 5 (табл. 2), причому всі вони перетворені на 10-бальну шкалу. На 5 ступенів впливу на фактори ризику розподілені й обставини робочого процесу (табл. 3).

Ступінь ризику і необхідні заходи для його зниження, алежно від обставин робочого процесу, що впливають на фактори ризику, за 100-бальною системою розбиваються на такі: 0...25 – малий ризик; 25...55 – середній ризик; 55...85 – необхідні заходи для його зменшення; 85...100 – роботу неможливо продовжувати до вжиття заходів зі зменшення або усунення ризику; понад 100 – зменшення ризику обов'язкове.

Таблиця 1

Наслідки збоїв (Категорія *U*) / The consequences of failure (Category *U*)

Наслідки, *P*	Опис	Пункти
Не мають ефекту	Збій, не має ніякого серйозного впливу на процес	0
Маловажні	Дуже малий збій (ушкодження), значно впливає на процес і безпеку	1
Малі	Збій з короткочасним ефектом, немає ризику для персоналу	2
Середньої величини	Збій, може створити ризик для персоналу, вимагає вживання заходів безпеки	4
Серйозні	Збій створює серйозні перешкоди роботі, ушкодження устаткування, вимагає спеціальних заходів захисту та безпеки, для усунення необхідний більш тривалий час	6
Дуже серйозні	Збій створив серйозну небезпеку, можливі серйозні травми або смерть	8
Катастрофічні	Збій створив серйозну загрозу здоров'ю та життю для великої кількості людей і т.п.	10

Таблиця 2

Можлива частота збоїв (імовірність *P*) / Possible disruption frequency (probability *P*)

Подія	Опис	Пункти
Дуже рідко	Збій практично можливий	0
Рідко	Збій може відбуватися один раз у 2–3 роки	3
Середньо	Збій може відбуватися раз у рік	5
Часто	Збій може відбуватися 2–3 рази в рік	8
Дуже часто	Збої можуть відбуватися часто, принаймні 2–3 рази на місяць	10

Але для реалізації цієї моделі, крім відомої (із статистичних або розрахункових даних про можливі відмови системи) імовірності $P(Y)$ виникнення негативної події, необхідно також знати обставини, які сприяють імовірності $N(Y)$ розвитку надзвичайної ситуації, та наслідки цих відмов $M(Y)$. Тому запропонована у [10; 11] та інших дослідженнях бальна оцінка ризику не є досконалою, але її можна використовувати як попередню.

Причому, якщо з наведеними в таблиці 1 за [3] наслідками збоїв технічних систем за 10-бальною шкалою можна погодитися, то з можливою частотою (імовірністю P) за таблицею 2 виникає проблема, тому що вона не прив'язана до напрацювання на відмову.

Подібний підхід передбачає тільки те, що така подія, тобто пов'язана із збоєм або відмовою у роботі системи, відбувається дуже рідко, рідко, середньо, часто чи дуже часто. Крім того, виникає питання і стосовного того, наприклад, яким чином за середньої частоти збоїв, коли останні можуть відбуватись раз

на рік, можна врахувати зростання її імовірності, якщо упродовж, наприклад, 1…6 місяців вона ще не відбулася?

Таблиця 3

Обставини робочого процесу, що впливають на фактори ризику (імовірність *V*) /Circumstances workflow influencing factors of risk (probability *V*)

Ступінь впливу	Характер впливу
0,6	Дана обставина, впливаючи повною мірою на фактор ризику, може зумовити його значне зниження
0,8	Вплив даної обставини робочого процесу на фактор ризику не є максимально повним за своєю інтенсивністю та може зумовити часткове зниження ризику
1,0	Вплив даної обставини робочого процесу на фактор ризику незначний
1,2	Вплив даної обставини робочого процесу на фактор ризику не є максимально повним за своєю інтенсивністюі та може зумовити часткове збільшення ризику
1,4	Дана обставина, впливаючи повною мірою на фактор ризику, може спричинити його значне збільшення

Також виникають питання і стосовно обставин робочого процесу, які впливають на фактори ризику *N*, а саме ступеня цього впливу, який за таблицею 3 поділяється на 5 категорій, причому з кроком у 0,2 починаючи з 0,6 до 1,4.

У праці [7] вказано, що в Росії оцінку ризику здійснюють його категоріюванням за класами умов праці, медико-біологічними даними працівників, отриманими у результаті періодичних медичних оглядів, а також на основі епідеміологічних даних. За такої оцінки ризику він є доказаним, а тільки на основі класу умов праці – підозрюваним і з використанням матеріалів атестації робочих місць.

Взагалі в РФ, яка у питанні розвитку методології оцінювання професійного ризику має декілька методичних вказівок і керівних документів, наприклад, [12; 13], спостерігається невідповідність між тими, що належать до галузевих. Галузеві документи з оцінювання ризику не використовують посилання на зазначені керівні документи, зокрема [13], мають неоднакове визначення термінів та побудовані на методі аналізу видів, наслідків і критичності відмов (АВНКВ), який започатковує 6 їх категорій (табл. 4) за їх значимістю від 0 до 5.

Перевагою галузевих методик, що базуються на методі АВНКВ вважається те, що виробничі і професійні ризики мають простоту і доступність викладу, а також оцінюються єдиною шкалою категорій. Як галузевий використовується і метод Файн−Кінні, заснований на комбінації ступеня піддавання працівника дії ШНВЧ на робочому місці та імовірності виникнення на ньому загрози та наслідків для здоров'я і безпеки працівників за умови її здійснення. І числова оцінка ризику, на відміну від [3], має не 6, а 4 категорії (0...10 – незначні ризики; 11...20 – допустимі чи прийнятні; 21...60 – значні ризики; 61...216 – екстремальні чи неприйнятні за таблицею 5) або 5 (0...50 – незначні ризики, 50...100 – адекватні, 100...150 – помірні, 150...360 – надмірні, понад 360 – критичні за табл. 6).

Таблиця 4

Категорія значимості наслідків реалізації небезпек (перетворений метод АВНКВ) / Category significance of the effects of hazards (converted method AVNKV)

Категорія значимості наслідків	Об'єкт, що піддається небезпеці, - персонал
5	Гострі професійні ураження важких форм (умови праці класу 4). Смертельні травми
4	Важкі форми професійних захворювань (умови праці класу 3.4). Важкі травми
3	Професійні захворювання середньої та легкої важкості (умови праці класу 3.3). Травми середньої важкості
2	Збільшення виробничо зумовленої захворюваності (умови праці класу 3.2). Легкі травми
1	Збільшення загальної захворюваності (умови праці класу 3.1). Мікротравми
0	Відсутній (умови праці класу 2)

Таблиця 5

Оцінка ризику (перетворені 6-бальні шкали категорій для визначення ризику) / Risk assessment (converted six-point scale to determine risk categories)

Числова оцінка ризику	Якісна оцінка ризику	Примітка
0...10	Несуттєві ризики	Ризик практично відсутній
11...20	Припустимі (прийнятні) ризики	Зона припустимого найбільш можливого низького рівня ризику. Ризик загалом задовільний і не вимагає додаткових заходів управління.
21...60	Суттєві ризики	Суттєвий рівень ризику (ризик, що вже може спричинити негативні наслідки) - може бути прийнятий до уваги під час розроблення цілей та планування заходів у перспективі.
61...216	Екстремальні (неприйнятні) ризики	Екстремальні - неприпустимі ризики. Всі ризики і впливи повинні бути скорочені, виключені та мають враховуватися у плануванні.

Галузеві документи також із відомих чотирьох принципів управління професійним ризиком, таких як усунення небезпечного чинника або ризику, боротьба з ним у джерелі виникнення, зниження його рівня або впровадження безпечних систем праці і використання засобів індивідуального захисту при збереженні залишкового ризику, крім їх

формулювання у загальному вигляді, не враховують відомий принцип зниження ШНВЧ на шляху його поширення.

Прийнятність же виробничого і професійного ризиків визначається відповідно до матриці ризику, за якою галузеві методики поділяють їх на три категорії:

– прийнятні, які у довгостроковому терміні потребують зниження;

– умовно прийнятні, які потребують зниження у середньостроковій перспективі;

– неприйнятні, які потребують негайних заходів управління.

Таблиця 6

Оцінка ризику (перетворені 10-бальні шкали категорій для визначення ризику) / Risk assessment (categories converted ten-point scale to determine risk)

Числова оцінка ризику	Якісна оцінка ризиків	Допустимість	Заходи впливу
0...50 50...100	Незначні Адекватні	Припустимі	Заходи щодо поліпшення ситуації, рекомендуються
100...150	Помірні		Негайне вжиття коригувальних дій
150...360 Більше 360	Надмірні Критичні	Неприпустимі	

Для визначення схильності, імовірності і наслідків цим методом існують три шкали, в яких числова оцінка ризику, а саме схильність, коливається від 0 (ніколи її не існує) до 10 (постійна). А ймовірність варіюється від 0 (абсолютно неможлива) до 10 (неодмінно станеться), наслідки ж перебувають в інтервалі від 0 (мінімальні пошкодження) до 100 (катастрофічні). Ступінь ризику визначається перемноженням числових категорій усіх цих складових – схильності, імовірності і наслідків.

Наведені вище методики підтверджують існування проблеми оцінювання виробничого ризику за наявності досить великого переліку ШНВЧ. Тому виникає потреба у дослідженні можливості використання методів багатовимірного аналізу до оцінювання такого ризику, оскільки виробничі умови, наприклад, у машинобудуванні, будівництві, виробництві будівельних матеріалів і т. ін. − це складні умови праці і негативний вплив на працівників.

До того ж, цей вплив є, як правило, результатом спільної дії цілої низки ШНВЧ, до яких належать порушення параметрів мікроклімату, освітлення, шум і вібрація, запиленість, можливість отримання механічної, електричної, термічної травми, психофізіологічні ШНВЧ, такі як монотонність, стрес, втома, несприятлива робоча поза людини-оператора, несумісність параметрів робочого місця з антропометричними даними конкретної людини і тощо.

Виходячи з зазначеного, за наявності використання у багатовимірному об’єкті, яким є будь-яка технічна система [9−11], декількох змінних і показників у вигляді переліку наявних ШНВЧ і їх параметрів, у моделі функції канонічних величин доцільно розв’язувати задачу дискримінації ряду апріорних груп із перерахованих показників. Тобто виділяти їх із загального переліку, внаслідок чого задача буде спрощена і полягатиме в отриманні набору дискримінантних функцій виду $d = a_1x + a_2x + a_3x + \ldots + a_ix$ з коефіцієнтами $a_1, a_2, a_3 \ldots a_i$, що мінімізують зміщення між різними групами ШНВЧ. Вони можуть задаватися власними числами і векторами множин об’єднаної матриці внутрішньогрупових сум квадратів і множин відхилень від групових середніх значень.

Наукова новизна і практична значимість

Обґрунтовано для оцінювання виробничого ризику доцільність застосування багатовимірної моделі аналізу умов праці, на основі розподілення за вагою параметрів наявних шкідливих та небезпечних виробничих чинників на дві канонічні величини – за одиницями вимірювання і їх частками до гранично допустимих концентрацій. Це дозволяє під час дослідження і оцінювання виробничого ризику врахувати умови праці у конкретному виробництві із зазначенням фактичних вимірів (або розрахункових значень, отриманих на стадії проектування) параметрів конкретних чинників, характерних для нього, переведенням їх з існуючих одиниць вимірювання у частки гранично допустимих концентрацій і визначенням їх ваги у канонічних величинах.

Такий підхід до методології оцінки виробничого ризику забезпечує виконання вимог, наведених у Державних санітарних нормах та правилах «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», про те, що гігієнічне оцінювання професійного ризику повинна проводитися з урахуванням величини експозиції цих факторів, показників стану здоров’я працівника та втрати ним працездатності.

Висновки

У результаті виконаного дослідження встановлено, що розвиток і удосконалення методів аналізу й оцінювання ризиків полягає не тільки у вилученні з них незначних за впливом ШНВЧ, а і вдосконалому розгляді ризикотвірних чинників і механізмів виникнення нещасних випадків.

Удосконалення підходів до оцінювання ризику повинно здійснюватись на загальному показнику, який дозволить порівнювати дію ШНВЧ, що мають різну природу виникнення з носіями у вигляді різних видів енергії, з урахуванням у загальних наслідках внеску

або вагової частки окремих чинників і визначенням інтегрованого ступеня небезпеки технічної системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Техногенные системы и теория риска : монография / [А. В. Багров, А. К. Муртазов]. – Рязань : Рязанский гос. ун-т им. С. А. Есенина : Рязанский гос. ун-т им. С. А. Есенина, 2010. – 207 с.
2. Бондарь Е. А. О методах оценки профессионального риска и путях их совершенствования / Е. А. Бондарь // Безопасность жизнедеятельности. – Москва, 2010. – Вып. 3(111). – С. 31–35.
3. Галлямова Э. И. Оценка производственных рисков как метод управления безопасностью в нефтяной и газовой промышленности [Электронный ресурс] / Э. И. Галлямова // Нефтегазовое дело. – 2016. - Вып. 3. - С. 293–306. – Режим доступа : http://ogbus.ru/issues/3_2016/ ogbus_3_2016_p293-306_Gallyamova E I_ru.pdf. – Загл. с экрана. – Проверено: 15.11.2016.
4. Живетин В. Б. Введение в анализ риска. Риски и безопасность человеческой деятельности : монография / В. Б. Живетин. – Москва : информ.- изд. центр «Бон Анца», 2008. – 384 с.
5. Захаренков В. В. Применение методов многомерного анализа к оценке риска факторов производственной среды / В. В. Захаренков, Д. В. Суржиков, А. М. Олещенко и др. // Современные наукоемкие технологии (Modern high technologies). – 2014. – № 1. – С. 62–65.
6. Имашева А. О. Математическое моделирование в управлении охраной труда / А. О. Имашева // Вектор науки Тольяттинского гос. ун-та. – 2013. – № 2 (24). – С. 283–287.
7. Касьянов М. А. Вдосконалення методів аналізу небезпек і виробничого ризику / М. А. Касьянов, В. О. Медяник, О. М. Гунченко, Ю. Г. Проніна // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2015. - Вып. 84. – С. 130–139.
8. Минько В. М. Математическое моделирование в управлении охраной труда : монография / В. М. Минько. – Калининград : ФГУНПП «Янтарный сказ», 2002. – 184 с.
9. Р 2.2.1766-03. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки труда / Введ. 2003-01-11. – Москва : Изд-во стандартов, 2003. – 24 с.
10. Р 2.2.2006-05 Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда / Введ. 2005-01-10. – Москва : Изд-во стандартов, 2005. – 108 с.
11. IEC 61882:2001. Hazardand operability studies (HAZOP studies) – Applicationguide.
12. EP 95-0313. HAZOP. HSE Manual. Shell International Exploration&Production B. V.
13. EP 95-0312. HAZID. HSE Manual. Shell International Exploration&Production B. V.

REFERENCES

1. Bagrov A.V. and Murtazov A.K. *Tehnogennye sistemy i teorija riska* [Man-made systems and risk theory]. Rjazanskij gos. un-t im. S.A. Esenina, Rjazan', 2010, 207 p. (in Russian).
2. Bondar' E.A. *O metodah ocenki professional'nogo riska i putjah ih sovepshenstvovanija* [On the methods of assessment ppofessionalnogo piska and ways to improve them]. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti* [Health and Safety]. Moscow, 2010, no. 3 (111), pp. 31−35. (in Russian).
3. Galljamova Je.I. *Otsenka proizvodstvennyh riskov kak metod upravlenija bezopasnost'ju v neftjanoj i gazovoj promyshlennosti* [Evaluation of operational risks as a security management method in the oil and gas industry]. *Neftegazovoe delo* [Oil and gas business]: 2016, no. 3, pp. 293–306. (in Russian).
4. Zhivetin V.B. *Vvedenie v analiz riska* [Introduction to risk analysis]. *Riski i bezopasnost' chelovecheskoj dejatel'nosti* [Risks and safety of human activity]. Moscow : inform.- izd. centr «BonAnca», 2008, 384 p. (in Russian).
5. Zaharenkov V.V., Surzhikov D.V. and Oleshhenko A.M. *Primenenie metodov mnogomernogo analiza k ocenke riska faktorov proizvodstvennoj sredy* [The use of multivariate analysis for risk assessment in the working environment] . *Sovremennye naukojomkie tehnologii* [Modern high technologies]. 2014, no. 1, pp. 62–65. (in Russian).
6. Imasheva A.O. *Matematicheskoe modelirovanie v upravlenii ohranoj truda* [Mathematical modeling in the management of occupational safety and health]. *Vektor nauki Tol'jattinskogo gos. un-ta* [Vector Science Togliatti State. Univ]. 2013, no. 2 (24), pp. 283–287. (in Russian).
7. Kas'janov M.A., Medjanyk V.O., Gunchenko O.M. and Pronina Ju.G. *Vdoskonalennja metodiv analizu nebezpek i vyrobnychogo ryzyku* [Improving methods of hazard analysis and production risk]. *Stroytel'stvo, materyalovedenye, mashynostroenye* [Construction, materials science, mechanical engineering]. 2015, no. 84, pp. 130–139. (in Ukrainian).
8. Min'ko V.M. *Matematicheskoe modelirovanie v upravlenii ohranoj truda* [Mathematical modeling in the management of occupational safety and health]. Kaliningrad : FGUNPP «Jantarnyj skaz», 2002, 184 p. (in Russian).
9. R 2.2.1766-03. *Rukovodstvo po ocenke professional'nogo riska dlja zdorov'ja rabotnikov. Organizacionno-metodicheskie osnovy, principy i kriterii ocenki* [Guidance on occupational risk assessment guide for workers' health. Organizational-methodical bases, principles and criteria of job evaluation]. Moscow : Izd-vo Standartov, 2003, 24 p. (in Russian).
10. R 2.2.2006-05 *Rukovodstvo po gigienicheskoj ocenke faktorov rabochej sredy i trudovogo processa. Kriterii i klassifikacija uslovij truda* [Guidance on the hygienic assessment of factors of working environment and labor process. The criteria and classification of working conditions]. Moscow : Izd-vo Standartov, 2005, 108 p. (in Russian).
11. IEC 61882:2001. Hazard and operability studies (HAZOP studies) – Applicationguide.
12. EP 95-0313. HAZOP. HSE Manual. Shell International Exploration&Production B. V.
13. EP 95-0312. HAZID. HSE Manual. Shell International Exploration&Production B. V.

Стаття рекомендована до публікації докт. техн. наук, проф. С. В. Шатовим (Україна); докт. техн. наук, проф. С. З. Поліщуком (Україна).

Надійшла до редакції 27.02.2017.
Прийнята до друку 03.03.2017.