

УДК 614.8.027.1:621.653 (621.311.23)

ОЦІНКА ВИРОБНИЧОГО РИЗИКУ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПЛУНЖЕРНИХ ПАР

КАСЬЯНОВ М. А.^{1*}, *д. т. н., проф.*,
 ХАЛМУРАДОВ Б. Д.², *к. м. н., доц.*,
 ГУНЧЕНКО О. М.³, *к. т. н., доц.*,
 ЗАНЬКО С. М.⁴, *асист.*

^{1*} Кафедра охорони праці і навколишнього середовища, Національний університет будівництва та архітектури, Повітрофлотський пр., 31, Київ, 03680, Україна, тел. +38 (044) 244-96-14, e-mail: kaflab241ecolog@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6034-4062

² Кафедра безпеки життєдіяльності, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, Київ, 03680, Україна, тел. +38 (044) 406-78-91, e-mail: baturk@vandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-2225-6528

³ Кафедра безпеки життєдіяльності та охорони праці, Державний університет телекомунікацій, вул. Солом'янська, 7, Київ, 03680, Україна, тел. +38 (044) 249-25-33, e-mail: oks-gunchenko@vandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-5769-2496

⁴ Кафедра безпеки життєдіяльності, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, Київ, 03680, Україна, тел. +38 (044) 406-78-91, e-mail: q22-22@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8347-2625

Анотація. Постановка проблеми. Оскільки виробничий ризик показує потенційні збитки, у т. ч. і для здоров'я працівників, у результаті виникнення небажаної події, пов'язаної з виробничою діяльністю підприємства (цеху, дільниці, машини тощо), який визначається з урахуванням імовірності настання цієї події, виникає необхідність в оцінюванні ризику під час експлуатації плунжерних пар дизелів шляхом отримання кількісних результатів його показників і здійснення процедури їх перевірки порівняно з допустимим рівнем ризику. **Методика.** Оцінка ризиків, з методичної точки зору, повинна бути не лише результатом осмисленої та цілеспрямованої діяльності, а й кількісною, оскільки вона безпосередньо пов'язана із заробітною платою, яка включає надбавку за ризик, і витратами на його зниження, а також об'єктивною. Вона повинна базуватись на підходах, методах і принципах, які б визнавалися і усвідомлювалися усіма учасниками виробничої діяльності. Тому із існуючих методик кількісного оцінювання ризику необхідно обґрунтовано вибрати найбільш прийнятну і коректну та шляхом її удосконалення і врахування специфічних ознак, характерних для умов експлуатації плунжерних пар, визначити його показники, а також розробити методи та засоби їх відновлення для подовження строку напрацювання на відмову. **Результати.** Встановлено, що довговічність плунжерних пар визначається ресурсом на досягнення межі допустимого зазору у спряженні. Для визначення імовірності відмови або безвідмовної роботи P_i елементів дизельного ДВЗ з ПНВТ, оснащеним плунжерною парою, з використанням аналізу причин виходу з ладу елементів і вузлів та на основі розрахункових і експериментальних даних щодо інтенсивності відмов складено перелік подій, розраховано їх інтенсивності при напрацюванні на відмову у $t = 20\ 000$ год. і на основі розглянутих причинно-наслідкових ланцюгів подій побудовано структурну схему «дерева відмов». Оскільки ця технічна система досліджується у період виникнення у процесі її експлуатації небезпечної критичної або аварійної ситуації, прийнято до уваги, що відмова ДВЗ може відбутися внаслідок параметричної і функціональної відмови. **Наукова новизна.** Обґрунтовано математичним моделюванням і розрахунком, з використанням установлених причин відмов або збоїв у роботі дизельного ДВЗ з ПНВТ, оснащеном плунжерною парою, і складеного на їх основі переліку подій з визначеною інтенсивністю, при напрацюванні на відмову у $t = 20\ 000$ год., та побудованого «дерева відмов», що величина імовірності безвідмовної роботи такого ДВЗ дорівнює $Q_A = 9,9978 \cdot 10^{-1}$, а імовірність його відмови $P(t) = 1 - Q(t) = 0,00022 = 2,2 \cdot 10^{-4}$. **Практична значимість.** Доведено, що впровадження заходів, наприклад, пов'язаних зі збільшенням напрацювання на відмову ДВЗ, а саме шляхом своєчасного відновлення лише плунжерної пари, дасть можливість збільшити імовірність безвідмовної роботи ПНВТ, гідравлічної і пневматичної системи ДВЗ та зменшити імовірність його функціональної відмови. Це, відповідно, знижує імовірність виникнення аварійної ситуації та спричинення шкоди здоров'ю водія автомобіля з дизельним ДВЗ, ПНВТ якого має плунжерну пару.

Ключові слова: математичне моделювання; виробничий ризик; плунжерна пара; імовірність безвідмовної роботи; травматизм; дерево відмов

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РИСКА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР

КАСЬЯНОВ М. А.^{1*}, *д. т. н., проф.*,
 ХАЛМУРАДОВ Б. Д.², *к. м. н., доц.*,
 ГУНЧЕНКО О. М.³, *к. т. н., доц.*,
 ЗАНЬКО С. М.⁴, *ассист.*

^{1*} Кафедра охраны труда и окружающей среды, Национальный университет строительства и архитектуры, Воздухофлотский пр., 31, Киев, 03680, Украина, тел. +38 (044) 244-96-14, e-mail: kaflab241ecolog@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6034-4062

² Кафедра безпеки життєдіяльності, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, Київ, 03680, Україна, тел. +38 (044) 406-78-91, e-mail: batyrk@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-2225-6528

³ Кафедра безпеки життєдіяльності і охорони праці, Державний університет телекомунікацій, ул. Соломенська, 7, Київ, 03680, Україна, тел. + 38 (044) 249-25-33, e-mail: oks-gunchenko@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-5769-2496

⁴ Кафедра безпеки життєдіяльності, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, Київ, 03680, Україна, тел. +38 (044) 406-78-91, e-mail: q22-22@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8347-2625

Анотація. Постановка проблеми. Поскольку производственный риск показывает потенциальные убытки, в т. ч. и для здоровья работников, в результате возникновения нежелательного события, связанного с производственной деятельностью предприятия (цеха, участка, машины и т. п.), который определяется с учётом вероятности наступления этого события, возникает необходимость в оценке риска при эксплуатации плунжерных пар дизелей путём получения количественных результатов его показателей и осуществления процедуры их проверки по сравнению с допустимым уровнем риска. **Методика.** Оценка рисков, с методической точки зрения, должна быть не только результатом осмысленной и целенаправленной деятельности, а и количественной, поскольку она непосредственно связана с заработной платой, которая включает надбавку за риск, и затратами на его снижение, а также объективной. Она должна базироваться на подходах, методах и принципах, которые признавались бы и осознавались всеми участниками производственной деятельности. Поэтому из существующих методик количественной оценки риска необходимо обоснованно выбрать наиболее приемлемую и корректную и путём её совершенствования и учёта специфических признаков, характерных для условий эксплуатации плунжерных пар, определить его показатели, а также разработать методы и средства их восстановления для продления срока наработки на отказ. **Результаты.** Установлено, что долговечность плунжерных пар определяется ресурсом достижения предела допустимого затора в сопряжении. Для определения вероятности отказа или безотказной работы P_1 элементов дизельного ДВС с ТНВД, оснащённым плунжерной парой, с использованием анализа причин выхода из строя элементов и узлов и на основе расчётных и экспериментальных данных по интенсивности отказов составлен перечень событий, рассчитаны их интенсивности при наработке на отказ при $t = 20\ 000$ ч и на основе рассмотренных причинно-следственных цепей событий построена структурная схема «дерева отказов». Поскольку эта техническая система исследуется в период возникновения в процессе её эксплуатации опасной, критической, или аварийной ситуации, принято во внимание, что отказ ДВС может произойти вследствие параметрического и функционального отказа. **Научная новизна.** Обосновано математическим моделированием и расчётом с использованием установленных причин отказов или сбоев в работе дизельного ДВС с ТНВД, оснащённым плунжерной парой, и составленного на их основе перечня событий с определённой интенсивностью, при наработке на отказ при $t = 20\ 000$ ч, и построенного «дерева отказов», что величина вероятности безотказной работы такого ДВС составляет $Q_A = 9,9978 \cdot 10^{-1}$, а вероятность его отказа $P(t) = 1 - Q(t) = 0,00022 = 2,2 \cdot 10^{-4}$. **Практическая значимость.** Доказано, что внедрение мероприятий, например, связанных с увеличением наработки на отказ ДВС, а именно путём своевременного восстановления только плунжерной пары, позволит увеличить вероятность безотказной работы ТНВД, гидравлической и пневматической системы ДВС и уменьшить вероятность его функционального отказа. Это, соответственно, снижает вероятность возникновения аварийной ситуации и причинения вреда здоровью водителя автомобиля с дизельным ДВС, ТНВД которого имеет плунжерную пару.

Ключевые слова: математическое моделирование; производственный риск; плунжерная пара; вероятность безотказной работы; травматизм; дерево отказов

RISK ASSESSMENT OF PRODUCTION OF OPERATION PLUNGER

KASYANOV N.A.^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
 KHALMURADOV B.D.², *Cand. Sc.(Med), Ass. of Prof.*,
 GUNCHENKO O.N.³, *Cand. Sc.(Tech), Ass. of Prof.*,
 ZAN'KO S.M.², *Ass.*

^{1*} 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: 0000-0002-6034-4062

² Department of life safety, National Aviation University, av. Komarova, 1, Kyiv, 03680, Ukraine, tel. +38 (044) 406-78-91, e-mail: batyrk@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-2225-6528

³ Department of life safety and labour 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

⁴ Department of life safety, National Aviation University, av. Komarova, 1, Kyiv, 03680, Ukraine, tel. +38 (044) 406-78-91, e-mail: q22-22@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8347-2625

Abstract. Statement of the problem. Since the production risk shows the potential losses and health workers, as a result of undesirable events associated with the production activities of the enterprise (management, machines, etc.), which is determined by taking into account the probability of occurrence of this event, there is a need for a risk assessment of the operation of plunger diesel engines by obtaining quantitative results of its performance and implementation of the procedure of verification as compared with the acceptable level of risk. **Methods.** Risk assessment, from the methodological point of view, should not only be the result of meaningful and purposeful activity, but also quantitative, since it is directly related to wages, which includes a risk premium, and the cost of its decline, as well as objective. It should be based on the approaches, methods and principles that are recognized and be aware of all the participants of production activities. Therefore, the existing quantitative risk assessment techniques necessary to reasonably choose the most appropriate and correct, and by improving its accounting and the

specific character of operating conditions plunger, determine its performance, and to develop methods and tools for recovery prolong MTBF. **Results.** It was found that the durability of plunger is determined to achieve a resource limit allowable clearance in conjunction. To determine the probability of failure or non-failure operation P_i components of the diesel internal combustion engine with injection pump, equipped with a plunger pair, using the analysis of the causes of failure of elements and components, and on the basis of the calculated and experimental data on the failure rate data compiled list of events and calculate their intensity when MTBF at $t = 20\ 000$ h. and a block diagram of «fault tree» is based on the considered causal chain of events. As this technical system is studied in the period of occurrence in the course of its operation dangerous, critical or emergency situations, it is taken into account that the internal combustion engine failure may occur as a result of parametric and functional failure. **The scientific novelty.** Mathematical modeling and calculation using established causes of failure or malfunction of the diesel internal combustion engine with injection pump, equipped with a plunger pair, and compiled based on these events list with a certain intensity, when MTBF at $t = 20\ 000$ h., And built «fault tree» obtained value of the probability of failure-free operation of the internal combustion engine, which is equal to $Q_A = 9,9978 \cdot 10^{-1}$, and the probability of its failure $P(t) = 1 - Q(t) = 0,00022 = 2,2 \cdot 10^{-4}$. **Practical significance.** It is proved that the introduction of measures, such as those associated with an increase in time between the internal combustion engine failure, namely through the timely recovery plunger pairs only, will increase the probability of failure of the high pressure pump, hydraulic and pneumatic systems and internal combustion engines to reduce the likelihood of functional failure. It thus reduces the likelihood of an accident and causing damage to the vehicle driver's health with a diesel internal combustion engine, which pump plunger pair.

Keywords: mathematical modeling; production risk; plunger pair; the probability of failure-free operation; injury; fault tree

Вступ

Плунжерна пара дизеля – один із найважливіших вузлів, який забезпечує його роботу на заданих режимах. Але оскільки цей вузол тертя швидко зношується, постає необхідність визначення його напрацювання на відмову, а відповідно, і показників ризику виникнення небезпечної ситуації у разі зниження потужності дизеля або при його аварійної відмови. Це, у свою чергу, дасть можливість визначити ризик заподіяння шкоди персоналу, що обслуговує транспортний засіб із дизелем, паливний насос якого оснащений плунжерною парою, та пасажиром або іншим учасником, наприклад, автодорожнього руху.

Відомо, що від 20 до 70 % відмов дизеля стаються через відмови паливної апаратури високого тиску, а саме через зношення плунжера і розгерметизацію голки по замикаючому конусу. За перші 300 год. роботи у плунжера початковий зазор з 1...4 мкм може збільшуватися до 3...5 мкм, а середній строк служби плунжерних пар за нормальної їх експлуатації залежить від обортовості дизеля і становить від $T = 200$ год (за швидкості обертів $n = 16\ 000 - 20\ 000$ хв⁻¹) до $T = 1\ 000 - 1\ 600$ год (при $n = 5\ 000 - 10\ 000$ хв⁻¹).

На рисунку 1 у графічному вигляді зображено залежність зростання зношення плунжерних пар паливної апаратури дизелів тепловозів від пробігу останніх, де: 1 і 2 – графіки зростання середнього діаметрального зазору i , відповідно, максимального місцевого зношення головки плунжера. Вони показують, що, наприклад, середній діаметральний зазор $u = 0,2$ мкм після пробігу тепловоза у $L = 50$ тис. км збільшується до $u = 0,4$ мкм при досяганні $L = 100$ тис. км, і відповідно до $L = 0,6$ мкм при $L = 200$ тис. км. Це дає можливість оцінити зростання не тільки виробничого ризику, а й економічних втрат через перевитрати дизельного палива.

У [1] також підтверджено, що довговічність плунжерних пар визначається ресурсом на досягнення межі допустимого зазору у sprzęженні. Але уточнено, що для малооборотових суднових дизелів, які

працюють на важких сортах палива, вимагається, щоб ресурс плунжерних пар складав не менше 20 тис. год. або половину ресурсу до їх капітального ремонту. Для середньооборотових дизелів із використанням вказаного палива межа напрацювання на відмову деталей, що швидко зношуються, встановлена у не менше ніж 14 тис. год.

Оцінка ризику базується на тому, що безпеки, які визначені на основі критеріїв прийнятного ризику в процесі експлуатації технічної системи, повинні бути кількісно або якісно оцінені з метою знаходження таких, що мають неприйнятний рівень та розроблення заходів щодо його зменшення [4]. Існує чотири підходи до оцінки ризику – інженерний, модельний, експертний і соціологічний.

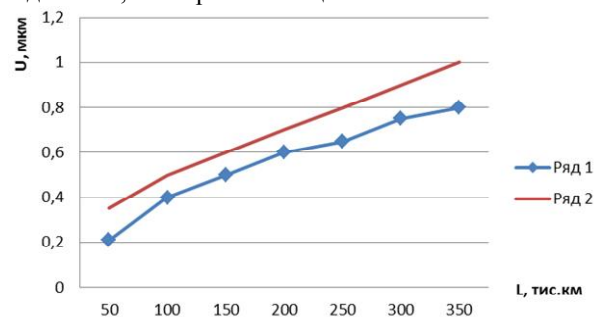


Рис. 1. Графічна залежність зростання зношення плунжерних пар паливної апаратури дизелів тепловозів від їх пробігу / Fig. 1. Graphic dependent increase wear plunger fuel equipment of diesel locomotives to run

Основа інженерного методу – це статистика помилок (відмов) і аварій, яка дає змогу розрахувати ризик за допомогою орієнтовних графів так званих «дерев подій» і «дерев відмов». Перше з них дає можливість передбачити, до чого розвивається та чи інша відмова технічної системи, а з допомогою другого можна прослідкувати усі причини, здатні призвести до небажаної події. Такі дерева дозволяють розрахувати спочатку імовірнісні реалізації кожного сценарію, які на схемі побудованого дерева мають вигляд гілки, а потім – загальну імовірність виникнення небезпечної,

критичної або аварійної ситуації під час експлуатації технічної системи на тому чи іншому об'єкті.

Модельний підхід полягає у побудові моделей впливу шкідливих та небезпечних виробничих чинників на людину і навколишнє середовище, що дозволяє визначити й описати наслідки від зазначених ситуацій та збиток від них.

Експертний підхід застосовується у разі недостатності вихідних даних і у випадку його застосування імовірність подій і т.ін. не розраховують, а визначають шляхом опитування експертів. Соціальний підхід взагалі базується на результатах соціологічного опитування працівників.

Методика

Оцінка ризиків, з методичної точки зору, повинна бути не лише результатом осмисленої та цілеспрямованої діяльності, а і кількісною, оскільки вона безпосередньо пов'язана із заробітною платою, яка включає надбавку за ризик, і витратами на його зниження, а також об'єктивною. Вона повинна базуватись на підходах, методах і принципах, які б визнавалися та усвідомлювалися усіма учасниками виробничої діяльності.

А отже, вимоги, які повинні висуватися до методики оцінювання показників ризику виникнення і розвитку небезпечної, критичної або аварійної ситуації, наслідками якої може бути травмування або загибель людей під час експлуатації у транспортних засобах дизельних двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) з плунжерними парами, через їх зношення або відмову, мають бути націлені не тільки на якісне, а і на кількісне визначення таких показників.

Тому з існуючих методик кількісного оцінювання ризику необхідно обгрунтовано вибрати найбільш прийнятну і коректну та шляхом її удосконалення і врахування специфічних ознак, характерних для умов експлуатації плунжерних пар, визначити його показники, що дасть змогу розробити методи та засоби їх відновлення для подовження строку напрацювання на відмову.

Мета дослідження

Оскільки виробничий ризик показує потенційні збитки, у т. ч. і для здоров'я працівників, у результаті виникнення небажаної події, пов'язаної з виробничою діяльністю підприємства (цеху, дільниці, машини тощо), яка визначається з урахуванням імовірності настання цієї події, виникає необхідність в оцінюванні ризику під час експлуатації плунжерних пар дизелів шляхом отримання кількісних результатів його показників і здійсненні процедури їх перевірки порівняно з допустимим рівнем ризику. Останній, як відомо [4], визнається таким при існуючих суспільних цінностях.

Крім того, така процедура необхідна для управління ризиками, у т. ч. і під час експлуатації дизелів із плунжерними парами, з метою приведення їх рівнів до допустимих, здійснення організаційної діяльності, яка включає не лише аналіз та оцінювання

ризиків, а і розроблення та впровадження захисних заходів з оцінкою їх результативності. Це пов'язано з тим, що, відповідно до аксіоми безпеки життєдіяльності, неможливість існування у наш час виробництва без будь-якого ризику для життя і діяльності персоналу розуміють не тільки експерти.

Результати дослідження

Слід зазначити, що у період, коли Україна прагне вступити до Євросоюзу, відповідно до його стандартів системи OHSAS, основою для планування і розроблення заходів з охорони праці повинні бути кількісні показники виробничого ризику, які врахували б особливості виробництва, можливості людини-оператора тощо [7; 8]. На сучасному етапі розвитку суспільства значний внесок у розроблення і відновлення методів і засобів визначення виробничого ризику внесли роботи таких відомих вчених як Е. Хенлі, Х. Кумамото, Г. Г. Гогіташвілі, С. В. Белов, В. М. Мінько, П. С. Пашковський, К. Н. Ткачук, А. С. Беліков, О. М. Голишев, Л. С. Кружилко, М. Т. Измеров, А. Б. Корчагін, І. В. Панферова, В. Б. Живетін та ін. [1; 2; 4; 7; 8].

Існуючі прямі методи оцінювання виробничого ризику припускають виявлення потенційних небезпек, оцінювання імовірності реалізації кожної з них за різними варіантами P_i і припустимою важкості C_i її наслідків для кожного i -го варіанта, тобто:

$$R = \sum_{i=1}^N P_i C_i, \tag{1}$$

де R – ризик завдання збитку, пов'язаного з можливістю реалізації i -го варіанта однієї з виявлених небезпек [1; 3; 6].

Такий підхід до оцінювання ризиків для випадку, що розглядається, є прийнятним, незважаючи на його складність і труднощі, пов'язані з необхідністю з прийнятною точністю визначити імовірність настання одного з варіантів реалізації кожної небезпеки.

Ризик порушення умов праці можна також кваліфікувати, застосовуючи матрицю ризиків, яка, за [1] залежно від ступеня небезпеки й умов її реалізації, встановлює чотири класи ризиків (табл. 1).

Таблиця 1

Матриця ризиків / Risk matrix

№	Умови реалізації небезпеки	Класи ризику ступеня небезпеки			
		Терпимий	Критичний	Значний	Загрозливий
1	2	3	4	5	6
1	У випадку аварії (інциденту)	3	3	2	2
2	Під час виконання ремонтних, пусконаладжувальних робіт	3	2	2	2

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4	5	6
3	Під час обслуговування обладнання	2	2	2	1
4	Постійно на робочому місці (під час виконання даного виду роботи)	2	2	1	

А метод оцінювання ризиків на основі матриці «імовірність – збиток» дає можливість кількісного оцінювання подій, які спричинять, наприклад, відмову плунжерної пари через її зношення чи появу дефектних локальних місць на поверхнях, які суттєво впливають на працездатність паливного насоса високого тиску. Цей метод базується на визначенні експертом у конкретній ситуації рангу імовірності її настання, зокрема, використовуються такі з них, як «низька», «середня» та «висока» імовірність і, відповідно, для кожної ситуації – потенціальний ранг збитку, наприклад, «великий», «середній» та «малий». Величина ризику при цьому подається і у кількісному вираженні в умовних величинах, зокрема таких, щоб було видно зростання різних за рангом збитків від збільшення імовірності настання аварійної ситуації (табл. 2).

Таблиця 2

Визначення умовного ризику (від 0 до 1) залежно від рангу імовірності виникнення події і величини збитку від неї / Of relative risk (0 to 1), depending on the rank of the likelihood of events and the magnitude of her loss

Ранг імовірності настання небезпечної події	Низька імовірність (0,3)	Середня імовірність (0,7)	Висока імовірність (1)
Ранг збитку			
Великий	0,3	0,7	1
Середній	0,2	0,5	0,7
Малий	0,1	0,2	0,3

Не вважаючи на те, що завдяки своїй простоті цей метод застосовується у розвинутих країнах, він може бути прийнятим лише для грубої, причому, суб'єктивної кількісної оцінки ризику, оскільки не лише однотипні, а й одна і та ж небезпечна ситуація у різних експертів отримує різне кількісне значення. Крім того, через деякий час той же самий експерт може змінити свою попередню оцінку ризику.

Існує також метод вербальних функцій [6], який майже виключає суб'єктивізм під час оцінювання імовірності різних подій і їх наслідків, але для його здійснення необхідно ретельно виконати попередню роботу та залучити висококваліфікованих експертів для складання вербального опису можливих ситуацій. Цей метод базується на тому, що кожному кількісному значенню імовірності їх настання повинен відповідати вербальний опис конкретної

ситуації, який, у свою чергу, складається за такими вимогами:

- кожна ситуація, що відповідає цьому опису, відповідає іншому;
- кожна ситуація не може одночасно відповідати двом або більше описам;
- формулювання визначеної умови виникнення небезпечної ситуації необхідно пов'язати з відповідним захисним заходом, призначеним для повного усунення цієї умови;

– реалізація захисного заходу, пов'язаного з елементом опису, і який є результатом усунення однієї з умов настання події, повинна забезпечувати перехід ситуації на більш високий рівень, тобто імовірність настання події повинна зменшитися.

У таблиці 3 наведено відповідність значення імовірності настання події вербальному типу ситуації з описом умов її виникнення.

Таблиця 3

Відповідність кількісного значення імовірності настання події вербальному типу ситуації / Compliance quantify the probability an event such verbal situation

Позначення імовірності	Величина імовірності	Опис умови виникнення події
Надзвичайно мала	0,1	1. Використано конструктивні заходи, що виключають можливість прояву небезпечного виробничого чинника (НВЧ). 2. Теоретично можливий прояв НВЧ у результаті надзвичайно малої імовірної аварії або помилки обладнання. 3. Відсутні відомості про відповідні аварії або помилки і пов'язані з ними нещасні випадки на даному або інших об'єктах.
Дуже мала	0,2	1. Можливість прояву НВЧ не виключена, але використано конструкторські заходи, що виключають можливість впливу НВЧ на працівника, включаючи його намір. 2. Відомо, що на інших об'єктах мали місце відповідні НВЧ.
.....

Оскільки в результаті настання однієї і тієї ж події можливий розвиток різних наслідків, до уваги рекомендується за цим методом приймати тільки два – найбільш імовірний і найбільш несприятливий. Але ризики оцінюються для кожного з них і до відома приймається більший, однак за умови, якщо для зменшення їх обох необхідно використовувати різні заходи, то необхідно врахувати їх обидва.

Головна сутність такого методу полягає в такому: якщо не гарантується виключення несприятливого

наслідку, то він раніше чи пізніше настане. Основним недоліком методу вербальних функцій вважається те, що за його допомогою ризик оцінюється без визначення частоти події, яка передбачається, тому така оцінка не повною мірою відповідає ризику як такому, і вона буде завищеною.

Існують також інші методи оцінювання ризиків, які базуються, зокрема, на основі: ступеня виконання вимог безпеки; системи Елмері; ранжування рівня вимог (ОВР), що є вдосконаленим варіантом індексу Елмері [5]. Але вони не прийнятні через вказаний вище недолік для застосування у варіанті, що розглядається, а саме, можливих відмов у роботі дизеля транспортних засобів через зношення плунжерної пари.

Основні причини для цього висновку такі:

– перший з указаних методів базується на припущеннях, по-перше, про можливість урахування усіх небезпек, або більшої їх частини, у загальних нормативних документах з охорони праці, промислової і пожежної безпеки; по-друге, що виконання їх вимог виключить виникнення виробничих ризиків. Але ці ствердження не прийнятні, оскільки однією з аксіом БЖД є те, що ризик, пов'язаний з об'єктами чи діяльністю, неможливо усунути повністю без ліквідації цього об'єкта або припинення діяльності;

– другий є непрямим методом кількісного оцінювання виробничих ризиків за так званим індексом безпеки (індексом Елмері):

$$\text{індекс Елмері} = \frac{\text{пункт "добре"}}{\text{пункт "добре"} + \text{пункт "погано"}}, \quad (2)$$

де *індекс Елмері* показує відсоткове відношення, значення якого може коливатися від 0 до 100, наприклад, результат 30 % показує, що 30 пунктів із 100 відповідають вагомим.

Але цей метод має недолік, який полягає у тому, що всі чинники впливу на безпеку приймаються рівнозначними і здійснюють внесок по одному балу в існуючі на об'єкті невідповідності. Це викривляє дійсний стан ризиків об'єкта і не дозволяє планувати заходи з охорони праці, враховуючи їх значимість і пріоритет окремих захисних заходів у загальній їх кількості.

Третій метод оцінювання ризиків на основі ранжування рівня вимог, або індекс ОВР, базується, як і індекс Елмері, на тому, що він пропонує показник також у вигляді співвідношення «відповідає» і «не відповідає». Але, на відміну від індексу Елмері, у ньому невідповідності класифікуються за трьома рівнями або рангами, в яких пункти з індексом «О», «В» і «Р» вміщують:

– обов'язкові «О», тобто найважливіші, вимоги безпеки, порушення яких може безпосередньо призвести до травм або професійного захворювання;

– важливі «В», вимоги безпеки, невиконання яких безпосередньо не призводять до травм або захворювання, але вказують на недостатній рівень

організації охорони праці на об'єкті, який може спричинити обтяження їх наслідків;

– рекомендації «Р» щодо організації робочого місця і трудового процесу, які не є обов'язковими, але свідчать про увагу до питань охорони праці і виробничої безпеки на об'єкті.

Виходячи з цього, виконання пунктів О, В і Р на об'єкті можна оцінити в 3, 2, 1 бал, відповідно, а індекс ОВР буде дорівнювати:

$$\text{індекс ОВР} = \frac{\text{відповідає ("O".3 + "B".2 + "P")}}{\text{не відповідає ("O".3 + "B".2 + "P")}} \cdot 100\%.$$

(3)

Але, не зважаючи на те, що цей індекс більш прогресивний, оскільки дозволяє точніше оцінювати рівень ризиків та вказувати на першочергові або найбільш результативні заходи, він, як і індекс Елмері, не є безпосередньо пов'язаним із наявністю та оцінкою ризиків на робочому місці.

Це, а також його базування на припущенні відносно того, що тяжкість наслідків, пов'язаних із можливими небезпеками, вже враховані у вимогах нормативних документів з охорони праці шляхом їх віднесення до визначених її рівнів у СУОП – державних, галузевих та об'єктних, є недоліком вказаного методу оцінювання ризиків. Його застосування не дозволяє встановити причинно-наслідкові зв'язки між недотриманням вимог та їх можливими наслідками.

Виконаний аналіз показав, що на процес виникнення ризику і його розвитку суттєво впливає велика кількість умов і чинників, характерних для технічної системи.

Сам процес розвитку небезпеки можна подати у такій логічній послідовності (рис. 2), коли порушення технологічного процесу, допустимих меж експлуатації, умов утримання і т. ін., спричиняє утворення та накопичення уражаючих чинників і врешті-решт – аварію технологічної системи, руйнування конструкції, утворення та викиди уражаючих чинників з їх дією на конкретний об'єкт (навколишнє природне середовище, людину, об'єкт техносфери і тощо), і, відповідно, реакцію цього об'єкта на уражаючу дію.

Показана на рисунку 3 логічна послідовність підтверджує, що наявність потенційної небезпеки (небезпечної або критичної ситуації) не завжди закінчується аварійною ситуацією або негативною дією на об'єкт розгляду.

Оскільки під час проектування й експлуатації технічних систем не повністю враховується принцип їх внутрішньої безпеки, тобто у них замало захисних ресурсів, достатніх для виключення дестабілювальних чинників, у цьому й полягає причина зростання кількості і тяжкості надзвичайних ситуацій.

Це повною мірою стосується і використання в паливних насосах високого тиску (ПНВТ) дизельних двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) плунжерних

пар, а також необхідності швидкого і якісного їх відновлення. Особливу актуальність набуває питання віднайдення методів і засобів його здійснення без зупинки і розбирання ДВЗ.

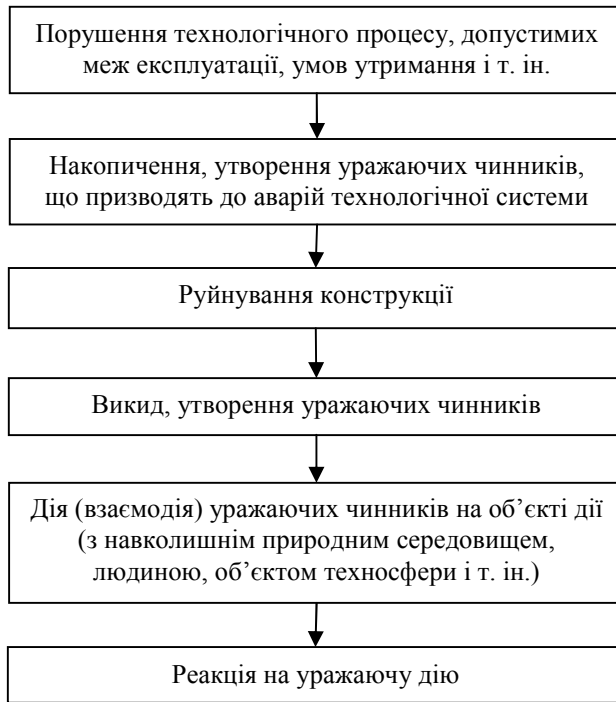


Рис. 2. Схема процесу розвитку небезпеки / Fig. 2. The scheme of development hazards

Правильна, аб, точніше, – коректна оцінка і аналіз ризику є основою декларування промислової безпеки задля обґрунтування частоти виникнення надзвичайних ситуацій (НС) і визначення пов'язаних із ними кількісних показників матеріального, екологічного і соціальних збитків. Останнім часом ризик аварії, як правило [3], розраховується в одиницях збитку, віднесених до визначеного часового терміну.

$$Y = \sum_{i=1}^N Y_i \cong a'(\Delta t) \cdot \bar{y}, \quad Y = \sum_{i=1}^N Y_i' \cong a'(\Delta t) \cdot \bar{y}, \quad (4)$$

де \bar{y} – середній збиток під час реалізації небезпечної події; $a'(\Delta t)$ – математичне очікування кількості подій за прийнятий до розрахунку термін.

Такий підхід дозволяє у рамках системного аналізу:

- дослідити причинно-наслідковий механізм виникнення НС;
- спрогнозувати їх частоту та можливі збитки;
- урахувати вплив як технологічних, конструктивних й інших особливостей технічної системи, так і умов її експлуатації, на характер і масштаби наслідків аварій;
- розробити систему оптимізації, підтримки і прийняття управлінського рішення з підвищення безпеки системи.

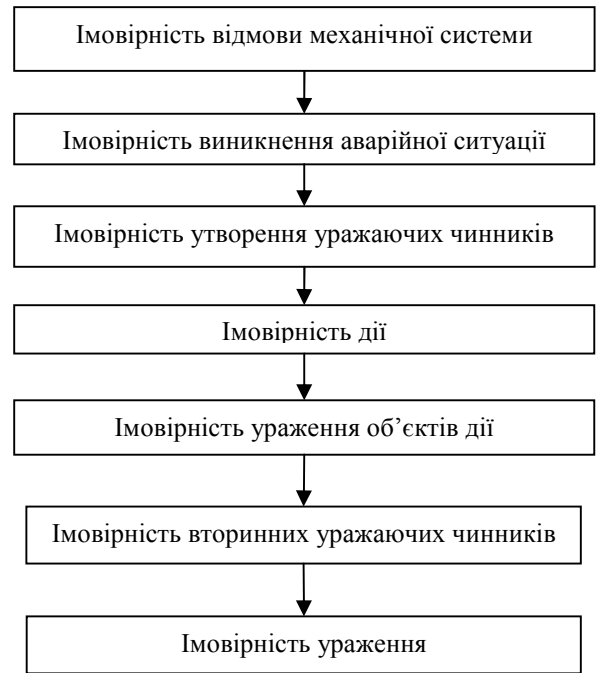


Рис. 3. Схема логічної послідовності розвитку небезпеки / Fig. 3. The scheme logical sequence of danger

Зрозуміло, що аварія сама по собі ніколи не відбувається, їй передуює процес накопичення дефектів технічної системи, які виникають, у т. ч. через зношення деталей і вузлів, а також – відхиленя від нормального перебігу технологічних процесів. А оскільки працівники не помічають цей процес із психофізіологічних причин (неуважності до виконання регламентних процедур, недостатньої інформації про роботу системи і тощо), у них відсутнє і почуття небезпеки.

На другому етапі розвитку аварійної ситуації, яка може змінюватися через незначну подію або вплив на технічну систему, працівники у своїх діях починають кидатися з боку в бік у пошуках правильного вирішення проблеми, і, не володіючи повною мірою даними про стан системи, тільки пришвидшують розвиток НС і обтяжують її наслідки.

На третьому етапі зовсім незначна, але несподівана подія зумовлює те, що система перестає підкорюватися діям оператора і відбувається аварія.

Таким чином, оцінка надійності технічної системи – один із проявів ризику як міри її безпеки [5].

Відомо, що імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ технічного об'єкта, тобто імовірність того, що у визначеному періоді часу $t = T$ не виникає відмова цього об'єкта, є основним показником його безвідмовності з точки зору надійності.

На рисунку 4, за [1], наведено графік функції безвідмовної роботи технічного об'єкта, наприклад, дизельного ДВЗ з плунжерною парою, виходячи з того, що величина $P(t)$, як і будь-якої іншої імовірності, повинна перебувати в інтервалі між 0 і 1, тобто $0 \leq P(t) \leq 1$. Тоді імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ й імовірність відмови створюють повну групу подій, а, отже:

$$P(t) + F(t) = 1. \quad (5)$$

Допустиме значення $P(t)$ вибирається залежно від ступеня небезпеки відмови, зокрема, за високих вимог до надійності об'єкта таким буде $P(t) = \gamma$, а час роботи об'єкта визначається як $t = T \cdot \gamma$ з того міркування, що він повинен відповідати заданій регламентованій імовірності безвідмовної роботи. При цьому величина γ використовується у частках цілого числа, наприклад, $\gamma = 0,6$, а значення $T \cdot \gamma$ називається «гамма-процентним ресурсом» і дає можливість констатувати меншу чи більшу безвідмовність об'єкта.

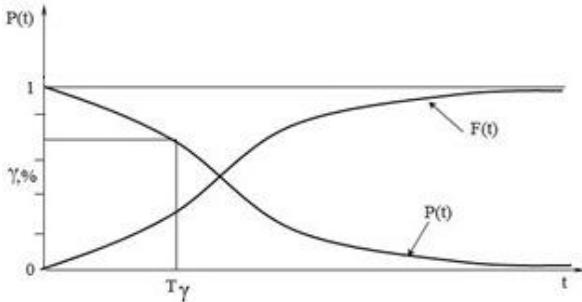


Рис. 4. Графік залежності імовірності безвідмовної роботи $P(t)$ й імовірності відмови $F(t)$ технічного об'єкта від заданого інтервалу часу експлуатації $t = T / \text{Fig. 4. Graph of the probability of failure-free operation } R(t) \text{ and probability of failure } F(t) \text{ the technical facility of a given time interval } t = T \text{ operation}$

Раптові відмови можна оцінювати [5] інтенсивністю відмов λ , яка є імовірністю виникнення відмови в одиницю часу, тобто λ , 1/год., за умови, що відмова не виникла до цього часу:

$$\lambda \frac{F\left(\frac{\Delta \tau}{\tau}\right)}{\Delta \tau} = \frac{1 - P\left(\frac{\Delta \tau}{\tau}\right)}{\Delta \tau}. \quad (6)$$

А за основною закономірністю теорії надійності,

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda dt} = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]. \quad (7)$$

можна, за $\lambda = \text{const}$, отримати вираз для експоненціального закону надійності:

$$P(t) = e^{-\lambda dt}. \quad (8)$$

При середньому терміні служби об'єкта до відмови для експоненціального закону:

$$T_{\text{сеп}} = \frac{1}{\lambda}. \quad (9)$$

значення $P(t)$ можна записати у вигляді:

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T_{\text{сеп}}}}. \quad (10)$$

А при $P(t) > 0,9$:

$$P(t) = 1 - \lambda t = 1 - \frac{t}{T_{\text{сеп}}}. \quad (11)$$

Для розрахунку надійності складної технічної системи, наприклад, дизельного ДВЗ, оснащеного ПНВТ з плунжерною парою, можна, за [5], використати структурну схему її надійної роботи, наведену на рисунку 5.

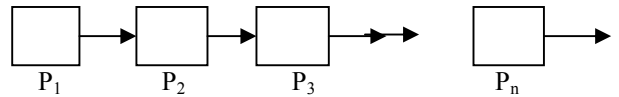


Рис. 5. Структурна схема надійної роботи технічної системи / Fig. 5. Block diagram of reliable technical systems

За такої схеми імовірність безвідмовної роботи системи дорівнює множині імовірностей безвідмовної роботи окремих елементів, тобто:

$$P(t) = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot \dots \cdot P_n = \prod_{i=1}^n P_i. \quad (12)$$

Цим пояснюється те, що складні системи, побудовані з елементів високої надійності, можуть мати низьку надійність через певну кількість таких елементів. І в разі несподіваних відмов, що підкоряються експоненціальному закону резервування де $\lambda_0 = \sum_{i=1}^n P_i$ є параметром складної системи:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_n) t} = e^{-\lambda_0 t}. \quad (13)$$

Виходячи з цього, можна зробити висновок, що одним із шляхів підвищення надійності складних систем є дублювання цих елементів на випадок їх відмови. І якщо такі резервні елементи будуть не тільки постійно під'єднані до основних, а і перебувати в однакових з ними режимах роботи, відмова системи може відбутися тільки у разі відмови усіх її елементів, у т. ч. і дублюючих.

За теоремою множення у цьому випадку імовірність спільного прояву всіх відмов складе:

$$P(t) = F_1 \cdot F_2 \cdot \dots \cdot F_m = 1 - \prod_{i=1}^m F_i, \quad (14)$$

а, відповідно, за такого (паралельного) резервування елементів безвідмовність роботи системи підвищується і буде дорівнювати:

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^m F_i = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - P_i). \quad (15)$$

Для визначення імовірності відмови або

безвідмовної роботи P_i елементів дизельного ДВЗ з ПНВТ, оснащеним плунжерною парою, з використанням аналізу причин виходу з ладу елементів і вузлів та на основі розрахункових і експериментальних даних щодо інтенсивності відмов λ , наведених у [1; 3–6; 8], у таблиці 4 складено перелік подій, розраховано їх інтенсивності у разі напрацювання на відмову у $t = 20\ 000$ год., і побудовано структурну схему «дерева несправностей» або «дерева відмов» (рис. 6).

Таблиця 4

Перелік подій та інтенсивність відмов елементів ДВЗ / The list of events and intensity of failures of ICE

№ з/п	Найменування події	Інтенсивність відмов λ , год	Імовірність безвідмовної роботи P_i
1	2	3	4
1	Негерметичність паливопровода	$3 \cdot 10^{-4}$	0,548
2	Забруднення паливного фільтра	$0,9 \cdot 10^{-4}$	0,835
3	Потрапляння води в паливо	$0,15 \cdot 10^{-4}$	0,97
4	Забруднення мастильного фільтра	$0,63 \cdot 10^{-4}$	0,878
5	Забруднення паливної системи	$0,9 \cdot 10^{-4}$	0,835
6	Потрапляння води в колектор і надпоршневий простір	$0,15 \cdot 10^{-4}$	0,97
7	Порушення регулювання положення ПНВТ	$1,1 \cdot 10^{-4}$	0,803
8	Зношення або несправність мастильного насоса	$2,5 \cdot 10^{-4}$	0,607
9	Зіскакування або ослаблення ремня привода ПНВТ і ГРМ	$0,3 \cdot 10^{-4}$	0,942
10	Обрив ремня привода ПНВТ і ГРМ	$0,15 \cdot 10^{-4}$	0,97
11	Перерви в роботі дизельного ДВЗ і плунжерної пари	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,423
12	Забруднення повітряного фільтра	$0,1 \cdot 10^{-4}$	0,98
13	Зношення штанги плунжера	$1,7 \cdot 10^{-4}$	0,718
14	Заклинювання плунжера	$1,5 \cdot 10^{-4}$	0,741
15	Забруднення форсунок плунжерної пари	$1,17 \cdot 10^{-4}$	0,79
16	Зношення або несправність плунжерної пари	$7,3 \cdot 10^{-4}$	0,297
17	Зношення або несправність головки плунжерної пари	$8,5 \cdot 10^{-4}$	0,265
18	Зношення цівки привода кулачкового вала	$0,12 \cdot 10^{-4}$	0,97
19	Зношення клапанів, сідел та інших елементів газорозподільного механізму (ГРМ)	$0,15 \cdot 10^{-4}$	0,97
20	Вихід з ладу розподільних валів	$0,35 \cdot 10^{-4}$	0,932
21	Вихід з ладу впускного колектора	$0,15 \cdot 10^{-4}$	0,97

Закінчення таблиці 4			
1	2	3	4
22	Вихід з ладу впускного колектора	$0,43 \cdot 10^{-4}$	0,917
23	Вихід з ладу балансирних валів	$0,1 \cdot 10^{-4}$	0,97
24	Вихід з ладу насоса системи охолодження	$0,65 \cdot 10^{-4}$	0,878
25	Вихід з ладу термостата	$0,15 \cdot 10^{-4}$	0,97
26	Вихід з ладу радіатора системи охолодження	$0,15 \cdot 10^{-4}$	0,97
27	Зношення або залягання мастило знімальних поршневих кілець	$0,35 \cdot 10^{-4}$	0,932
28	Зношення або залягання компресійних поршневих кілець	$0,43 \cdot 10^{-4}$	0,917
29	Зношення поршнів	$1,7 \cdot 10^{-4}$	0,718
30	Руйнування поршнів	$0,3 \cdot 10^{-4}$	0,942
31	Зношення або прогорання клапанів	$3 \cdot 10^{-4}$	0,481
32	Зношення дзеркала циліндрів	$0,65 \cdot 10^{-4}$	0,878
33	Вихід з ладу гільзи	$0,43 \cdot 10^{-4}$	0,917
34	Вихід з ладу прокладки головки блока циліндрів	$0,55 \cdot 10^{-4}$	0,895
35	Вихід з ладу головки блока циліндрів	$0,15 \cdot 10^{-4}$	0,97
36	Вихід з ладу блока циліндрів	$0,43 \cdot 10^{-4}$	0,917
37	Вихід з ладу колінчастого вала	$0,9 \cdot 10^{-4}$	0,835
38	Вихід з ладу шатунів	$0,15 \cdot 10^{-4}$	0,97
39	Вихід з ладу підшипників кочення	$0,65 \cdot 10^{-4}$	0,878
40	Вихід з ладу підшипників кочення	$0,65 \cdot 10^{-4}$	0,878
41	Вихід з ладу підшипників ковзання	$0,55 \cdot 10^{-4}$	0,895
42	Вихід з ладу датчиків тиску і низького тиску мастила	$0,1 \cdot 10^{-4}$	0,98
43	Вихід з ладу датчиків тиску і низького тиску мастила	$0,1 \cdot 10^{-4}$	0,98
44	Відмова запобіжника	$3 \cdot 10^{-4}$	0,917
45	Слабкий заряд акумулятора	$0,65 \cdot 10^{-4}$	0,878
46	Зношення стартера	$0,75 \cdot 10^{-4}$	0,861
47	Вихід з ладу електронного блока управління	$0,56 \cdot 10^{-4}$	0,895
48	Порушення регулювання відсічного клапана	$0,9 \cdot 10^{-4}$	0,835
49	Зношення відсічного клапана	$0,75 \cdot 10^{-4}$	0,861
50	Відсутність електричної напруги на центральному електроді електромагнітного клапана через зіскакування клем провода або його обриву	$0,65 \cdot 10^{-4}$	0,878
51	Окиснення контактів або порушення зазору між електродами у свічках розжарювання	$0,1 \cdot 10^{-4}$	0,98
52	Зношення свічок розжарювання	$0,4 \cdot 10^{-4}$	0,923

Структурна схема несправностей дизельного ДВЗ з плунжерною парою у ПНВТ побудована на основі розглянутих причинно-наслідкових ланцюгів подій, а оскільки ця технічна система досліджується в період

виникнення у процесі її експлуатації небезпечної критичної, або аварійної ситуації, прийнято до уваги, що відмова ДВЗ може відбутися внаслідок параметричної і функціональної відмови.

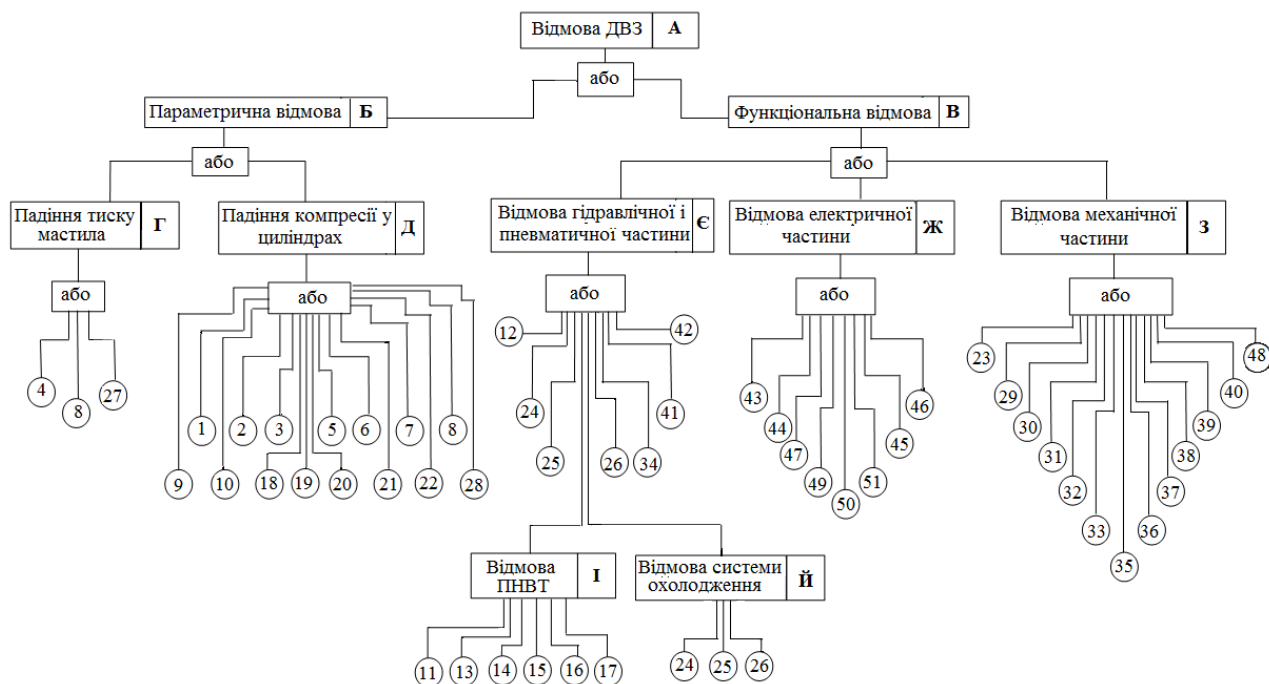


Рис. 6. Структурна схема «дерева відмов» дизельного ДВЗ з ПНВТ, оснащеним плунжерною парою / Fig. 6. Block diagram of the "fault tree" of diesel combustion engines with fuel injection pump equipped with a pair plunzhernuyu

За цими даними визначається імовірність безвідмовної роботи елементів ДВЗ за формулою:

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i t} = \exp(-\lambda_i t). \quad (16)$$

Тоді імовірність відмов підсистем Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, І, Й та системи А буде:

$$Q_G = 1 - P_4 \cdot P_9 \cdot P_{27}. \quad (17)$$

$$Q_D = 1 - P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_5 \cdot P_6 \cdot P_7 \cdot P_8 \cdot P_9 \cdot P_{10} \cdot P_{18} \cdot P_{19} \cdot P_{20} \cdot P_{21} \cdot P_{22} \cdot P_{29}. \quad (18)$$

$$Q_B = 1 - P_G \cdot P_D. \quad (19)$$

$$Q_I = 1 - P_{11} \cdot P_{13} \cdot P_{14} \cdot P_{15} \cdot P_{16} \cdot P_{17}. \quad (20)$$

$$Q_{II} = 1 - P_{24} \cdot P_{25} \cdot P_{26}. \quad (21)$$

$$Q_E = 1 - P_I \cdot P_{II} \cdot P_{12} \cdot P_{34} \cdot P_{41} \cdot P_{42}. \quad (22)$$

$$Q_{ZH} = 1 - P_{43} \cdot P_{44} \cdot P_{45} \cdot P_{46} \cdot P_{47} \cdot P_{49} \cdot P_{50} \cdot P_{51}. \quad (23)$$

$$Q_Z = 1 - P_{28} \cdot P_{29} \cdot P_{30} \cdot P_{31} \cdot P_{32} \cdot P_{33} \cdot P_{35} \cdot P_{36} \cdot P_{37} \cdot P_{38} \cdot P_{39} \cdot P_{40} \cdot P_{49}. \quad (24)$$

$$Q_B = 1 - P_E \cdot P_{ZH} \cdot P_Z. \quad (25)$$

$$Q_A = 1 - P_B \cdot P_V. \quad (26)$$

Підставляючи значення інтенсивності відмов із таблиці 4 у формули (17–26), отримаємо:

1. $Q_G = 1 - 0,878 \cdot 0,607 \cdot 0,932 = 5,04 \cdot 10^{-1}$.
2. $Q_D = 1 - 0,548 \cdot 0,835 \cdot 0,97 \cdot 0,835 \cdot 0,97 \cdot 0,803 \cdot 0,607 \cdot 0,942 \cdot 0,97 \cdot 0,97 \cdot 0,97 \cdot 0,932 \cdot 0,97 \cdot 0,917 \cdot 0,917 = 8,783 \cdot 10^{-1}$.
3. $Q_B = 1 - 0,496 \cdot 0,1217 = 9,396 \cdot 10^{-1}$.
4. $Q_I = 1 - 0,813 \cdot 0,718 \cdot 0,741 \cdot 0,79 \cdot 0,67 \cdot 0,607 = 8,627 \cdot 10^{-1}$.
5. $Q_{II} = 1 - 0,878 \cdot 0,97 \cdot 0,97 = 1,74 \cdot 10^{-1}$.
6. $Q_E = 1 - 0,986 \cdot 0,174 \cdot 0,98 \cdot 0,895 \cdot 0,98 \cdot 0,878 = 8,7 \cdot 10^{-1}$.
7. $Q_{ZH} = 1 - 0,917 \cdot 0,878 \cdot 0,861 \cdot 0,895 \cdot 0,835 \cdot 0,878 \cdot 0,98 \cdot 0,923 = 5,073 \cdot 10^{-1}$.

$$Q_3 = 1 - 0,97 \cdot 0,718 \cdot 0,942 \cdot 0,481 \cdot 0,878 \cdot 0,917 \cdot 0,97 \cdot 0,917 \cdot 0,835 \cdot 0,97 \cdot 0,917 \cdot 0,835 \cdot 0,97 = 8,892 \cdot 10^{-1}$$

$$8. Q_B = 1 - 0,0661 \cdot 0,4927 \cdot 0,1108 = 9,964 \cdot 10^{-1}$$

$$10. Q_A = 1 - 0,0604 \cdot 0,00361 = 9,9978 \cdot 10^{-1}$$

$$1. P_G = 1 - Q_G = 4,96 \cdot 10^{-1}$$

$$2. P_D = 1 - Q_D = 8,99 \cdot 10^{-1}$$

$$3. P_B = 1 - Q_B = 4,46 \cdot 10^{-1}$$

$$4. P_I = 1 - Q_I = 2,877 \cdot 10^{-1}$$

$$5. P_{II} = 1 - Q_{II} = 8,26 \cdot 10^{-1}$$

$$6. P_C = 1 - Q_C = 1,48 \cdot 10^{-1}$$

$$7. P_{Ж} = 1 - Q_{Ж} = 4,927 \cdot 10^{-1}$$

$$8. P_3 = 1 - Q_3 = 11,08 \cdot 10^{-1}$$

$$9. P_B = 1 - Q_B = 8,1 \cdot 10^{-3}$$

$$10. P_A = 1 - Q_A = 2,2 \cdot 10^{-4}$$

Таким чином, імовірність безвідмовної роботи дизельного ДВЗ із зазначеним ПНТВ дорівнює $Q_A = 9,9978 \cdot 10^{-1}$, а імовірність його відмови визначається з $P(t) + Q(t) = 1$, і, відповідно, $P(t) = 1 - Q(t) = 0,00022 = 2,2 \cdot 10^{-4}$.

Наукова новизна і практична значимість

Обґрунтовано математичним моделюванням і розрахунком, з використанням установлених причин відмов або збоїв у роботі дизельного ДВЗ з ПНВТ, оснащеним плунжерною парою, і складеного на їх основі переліку подій з визначеною інтенсивністю, при напрацюванні на відмову у $t = 20\ 000$ год., та побудованого «дерева відмов», що величина імовірності безвідмовної роботи такого ДВЗ дорівнює $Q_A = 9,9978 \cdot 10^{-1}$, та імовірність його відмови $P(t) = 1 - Q(t) = 0,00022 = 2,2 \cdot 10^{-4}$. Доведено, що впровадження заходів, наприклад, пов'язаних зі

збільшенням напрацювання на відмову ДВЗ, а саме шляхом своєчасного відновлення лише плунжерної пари, дасть можливість збільшити імовірність безвідмовної роботи ПНВТ, гідравлічної і пневматичної системи ДВЗ та зменшити імовірність його функціональної відмови. Це, відповідно, знижує імовірність виникнення аварійної ситуації та спричинення шкоди здоров'ю водія автомобіля з дизельним ДВЗ, ПНВТ якого має плунжерну пару.

Висновки

1. Установлено, що довговічність плунжерних пар визначається ресурсом на досягнення межі допустимого зазору у спряженні. Для малооборотових судових дизелів, які працюють на важких сортах палива, вимагається, щоб ресурс плунжерних пар складав не менше 20 тис. Год. або половину ресурсу до їх капітального ремонту. Для середньооборотових дизелів із використанням указанного палива межа напрацювання на відмову деталей, що швидко зношуються, встановлена у не менше ніж 14 тис. год.

2. Показано, що основою інженерного методу оцінювання ризику є статистика помилок (відмов) і аварій, яка дає змогу побудувати і розрахувати за допомогою орієнтовних графів так званих «дерева подій» і «дерева відмов» імовірність виникнення небезпечної, критичної або аварійної ситуації під час експлуатації технічної системи на тому чи іншому об'єкті.

3. Установлено, що імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ технічного об'єкта, тобто імовірність того, що у визначеному періоді часу $t = T$ не виникає відмова цього об'єкта, є основним показником його безвідмовності з точки зору надійності.

4. Математичним моделюванням обґрунтовано, що для розрахунку надійності складної технічної системи, наприклад, дизельного ДВЗ, оснащеного ПНВТ з плунжерною парою, можна застосовувати таку структурну схему її надійної роботи, за якою імовірність безвідмовної роботи системи дорівнює множині ймовірностей безвідмовної роботи окремих

елементів, тобто: $P(t) = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot \dots \cdot P_n = \prod_{i=1}^n P_i$.

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, 2010. – 207 с.
2. Беликов А. С. Специальные средства по обеспечению безопасного ведения работ в экстремальных ситуациях / А. С. Беликов, В. А. Шаломов, Л. А. Чердиченко, А. С. Чаплыгин, Ю. А. Фурнье // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2011. – Вып. 62. – С. 73–78.
3. Оценка риска и управление техногенной безопасностью: монография / [В. А. Владимиров, В. И. Измалков, А. В. Измалков]. – Москва : ФИД «Деловой экспресс», 2002. – 184 с.
4. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами : навч. посіб. / [Г. Г. Гогіташвілі, С. Т. Карчевські, В. М. Лапін]. – Київ : Знання, 2007. – 367 с.
5. Живетин В. Б. Введение в анализ риска. Серия «Риски и безопасность человеческой деятельности», книга 1 / В. Б. Живетин. – Москва : информ.-изд. Центр «Бон Анца», 2008. – 384 с.
6. Дослідження виробничого ризику у ковальсько-пресових цехах : монография / [М. А. Касьянов, Д. О. Вишневецький,

І. В. Савченко, О. М. Гунченко]. – Луганськ : Ноулідж, 2014. – 224 с.

7. Федорец А. Г. Научно-методические основы управления производственными рисками на рабочих местах / А. Г. Федорец // Безопасность в техносфере. – 2007. – № 6. – С. 18–27.

8. Надежность технических систем и оценка риска; под ред. В. С. Сыромятникова / [Е. Дж. Хенли, Х. Кумamoto]. – Москва : Машиностроение, 1984. – 528 с.

REFERENCES

1. Bagrov A.V. and Murtazov A.K. *Tehnogennye sistemy i teorija riska* [Man-made systems and risk theory]. Rjazan' : Rjazanskij gos. un-t im. S.A. Esenina, 2010, 207 p. (in Russian).

2. Belikov A.S. Shalomov V.A., Cherednichenko L.A., Chaplygin A.S. and Furn'e Ju.A. *Special'nye sredstva po obespecheniju bezopasnogo vedenija robot v jekstremal'nyh situacijah* [Special means to ensure safe operations in extreme situations]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, materials science, mechanical engineering]. 2011, no. 62, pp. 73–78 (in Russian).

3. Vladimirov V.A., Izmalkov V.I. and Izmalkov A.V. *Ocenka riska i upravlenie tehnogennoj bezopasnost'ju* [Risk assessment and management of technogenic safety]. Moscow : FID «Delovoj jekspress», 2002, 184 p. (in Russian).

4. Gogitashvili G.G., Karchevs'ki Je.T. and Lapin V.M. *Upravlinnja ohoronoju praci ta ryzykom za mizhnarodnymy standartamy* [Management of labor protection and risk according to international standards]. Kyiv : Znannja, 2007, 367 p. (in Ukrainian).

5. Zhivetin V.B. *Vvedenie v analiz riska. Serija «Riski i bezopasnost' chelovecheskoj dejatel'nosti»* [Introduction to risk analysis. Series "Risks and safety of human activity"]. Moscow : inform.- izd. centr «Bon Anca», 2008, 384 p. (in Russian).

6. Kas'janov M.A., Vyshnevs'kyj D.O., Savchenko I.V. and Gunchenko O.M. *Doslidzhennja vyrobnychogo ryzyku u koval's'ko-presovyh cehah* [Investigation of industrial noise in forging workshop]. Lugans'k : Noulidzh, 2014, 224 p. (in Ukrainian).

7. Fedorec A.G. Nauchno-metodicheskie osnovy upravlenija proizvodstvennymi riskami na rabochih mestah [Scientific-methodical bases of industrial risk management in the workplace]. *Bezopasnost' v tehnosfere* [Safety in Technosphere]. 2007, no. 6, pp. 18–27. (in Russian).

8. Henli E.Dzh. and Kumamoto H. *Nadezhnost' tehniceskikh sistem i ocenka riska* [Reliability of technical systems and risk assessment]. Moscow : Mashinostroenie, 1984, 528 p. (in Russian).

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

Надійшла до редакції 07.02.2017

Прийнята до друку 20.02.2017