

## ОЦІНКА ВИРОБНИЧОГО РИЗИКУ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПЛУНЖЕРНИХ ПАР

КАСЬЯНОВ М.А.<sup>1\*</sup>, *д.т.н., проф.*,  
ХАЛМУРАДОВ Б.Д.<sup>2</sup>, *к.м.н., доц.*,  
ГУНЧЕНКО О.М.<sup>3</sup>, *к.т.н., доц.*,  
ЗАНЬКО С.М.<sup>2</sup>, *ас.*

<sup>1\*</sup> Кафедра охорони праці і навколишнього середовища, Київський Національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський проспект, 31, 03680, Київ, Україна, тел. +38(044)2449614, e-mail: kaflab241ecolog@gmail.com

<sup>2</sup> Кафедра безпеки життєдіяльності, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова 1, 03680, Київ, Україна, тел. +38(044)4067891, e-mail: batyrk@yandex.ua

<sup>3</sup> Кафедра безпеки життєдіяльності та охорони праці, Державний університет телекомунікацій, вул. Солом'янська, 7, 03680, Київ, Україна, тел.:+38(044)2492533, e-mail: oks-gunchenko@yandex.ru

**Анотація. Мета.** 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, то виникає необхідність у оцінці ризику при експлуатації плунжерних пар дизелів шляхом отримання кількісних результатів його показників і здійснення процедури їх перевірки у порівнянні з допустимим рівнем ризику. **Методика.** Оцінка ризиків, з методичної точки зору, повинна бути не лише результатом осмисленої та цілеспрямованої діяльності, а і кількісною, оскільки вона безпосередньо пов'язана з 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 кількісної оцінки 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 sprzęженні. 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 по інтенсивності відмов складено перелік подій, розраховано їх інтенсивності при напрацюванні на відмову у  $t = 20000$  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, то прийнято до уваги, що відмова ДВЗ може відбутися внаслідок параметричної і функціональної відмови. **Наукова новизна і практична значимість.** Математичним моделюванням і розрахунком, з використанням встановлених причин відмов або збоїв у роботі дизельного ДВЗ з ПНВТ, оснащеним плунжерною парою, і складеному на їх основі переліку подій з визначеною інтенсивністю, при напрацюванні на відмову у  $t = 20000$  год., та побудованого «дерева відмов» отримано величину імовірності безвідмовної роботи такого ДВЗ, яка дорівнює  $Q_A = 9,9978 \cdot 10^{-1}$ , а імовірність його відмови  $P(t) = 1 - Q(t) = 0,572 = 5,7 \cdot 10^{-1}$ .

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

## ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РИСКА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР

КАСЬЯНОВ М.А.<sup>1\*</sup>, *д.т.н., проф.*,  
ХАЛМУРАДОВ Б.Д.<sup>2</sup>, *к.м.н., доц.*,  
ГУНЧЕНКО О.М.<sup>3</sup>, *к.т.н., доц.*,  
ЗАНЬКО С.М.<sup>2</sup>, *ас.*

<sup>1\*</sup> Кафедра охраны труда и окружающей среды, Киевский Национальный университет строительства и архитектуры, Воздухофлотский проспект, 31, 03680, Киев, Украина, тел. +38(044)2449614, e-mail: kaflab241ecolog@gmail.com

<sup>2</sup> Кафедра безопасности жизнедеятельности, Национальный авиационный университет, пр. Космонавта Комарова, 1, 03680, Киев, Украина, тел. +38(044)4067891, e-mail: batyrk@yandex.ua

<sup>3</sup> Кафедра безопасности жизнедеятельности и охраны труда, Государственный университет телекоммуникаций, ул. Соломенная, 7, 03680, Киев, Украина, тел.:+38(044)2492533, e-mail: oks-gunchenko@yandex.ru

**Аннотация. Цель.** 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, то 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 зазора в сопряжении. Для определения вероятности отказа или безотказной работы  $P_i$  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  $t = 20000$  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, то принято во внимание, что отказ ДВС может произойти вследствие параметрического и функционального отказа. **Научная новизна и практическая значимость.** Математическим моделированием и расчётом с использованием установленных причин отказов или сбоев в работе дизельного ДВС с ТНВД, оснащённым плунжерной парой, и составленным на их основе перечня событий с определённой интенсивностью, при наработке на отказ при  $t = 20000$  ч., и построенного «дерева отказов» получена величина вероятности безотказной работы такого ДВС, равная  $Q_A = 9,9978 \cdot 10^{-1}$ , а вероятность его отказа  $P(t) = 1 - Q(t) = 0,572 = 5,7 \cdot 10^{-1}$ .

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

## RISK ASSESSMENT OF PRODUCTION OF OPERATION PLUNGER

KASYANOV N. A.<sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
KHALMURADOV B.D.<sup>2</sup>, *Cand. Sc.(Med), Assoc.*,  
GUNCHENKO O. N.<sup>3</sup>, *Cand. Sc.(Tech), Assoc.*,  
ZANKO S.M.<sup>2</sup>, *Ass.*

<sup>1\*</sup> Department of labor protection and the environment, Kyiv national University of construction and architecture, vozdukhoflotsky prospect 31, 03680, Kiev, Ukraine tel: +38(044)2449614, e-mail: kaflab241ecolog@gmail.com

<sup>2</sup> Department of life safety, National Aviation University, pr. Komarova 1 03680 Kiev, Ukraine Tel. +38 (044) 406-78-91, e-mail: batyrk@yandex.ua

<sup>3</sup> Department of life safety and labour protection, State University of telecommunications, Solomenskaya Str. 7, 03680, Kiev, Ukraine tel.:+38 (044) 2492533, e-mail: oks-gunchenko@yandex.ru

**Annotation. Goal.** 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  $t = 20000$  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 and practical significance.** 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  $t = 20000$  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  $P(t) = 1 - Q(t) = 0,572 = 5,7 \cdot 10^{-1}$ .

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

## Вступ

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

Відомо, що від 20% до 70% відмов дизеля стаються з-за відмов паливної апаратури високого тиску, а саме через зношення плунжера і розгерметизацію голки по замикаючому конусу [12,18]. 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 при нормальній їх експлуатації залежить від обертовості дизеля і становить від  $T = 200$  год. (при швидкості оборотів  $n = 16000 - 20000$  хв.<sup>-1</sup>) до  $T = 1000 - 1600$  год (при  $n = 5000 - 10\ 000$  хв.<sup>-1</sup>).

На рис. 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  $u$ , відповідно, максимального місцевого зношення головки плунжера. Вони показують, що, наприклад, середній діаметральний зазор  $u = 0,2$  мкм після пробігу тепловозу 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 і економічних втрат з-за перерозходу дизельного палива.

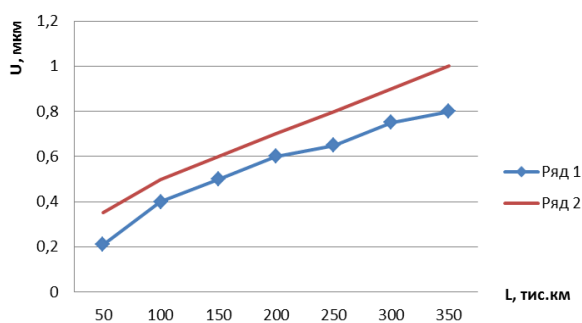


Рис. 1. Графічна залежність зростання зношення плунжерних пар паливної апаратури дизелів тепловозів від їх пробігу /  
*Graphic dependent increase wear plunger fuel equipment of diesel locomotives to run*

У [14] також підтверджено, що довговічність плунжерних пар визначається ресурсом на досягнення межі допустимого зазору у спряженні. Але уточнено, що для малообертових судових дизелів, які працюють на важких сортах палива,

вимагається, щоб ресурс плунжерних пар складав не менше 20 тис. годин або половину ресурсу до їх капітального ремонту. Для середньообертових дизелів з 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 небезпеки, які визначені на основі критеріїв прийнятного ризику при експлуатації технічної системи, повинні бути кількісно або якісно оцінені з метою знаходження таких, що мають неприйнятний рівень та розробки заходів щодо його зменшення [4,9,10,11,17,19,22, 24,25]. Існує чотири підходи до оцінки ризику – інженерний, модельний, експертний і соціологічний.

Основною інженерного метода є статистика помилок (відмов) і аварій, яка дає змогу розрахувати ризик за допомогою орієнтовних графів так званих «дерев подій» і «дерев відмов» [10]. Перше з них дає можливість передбачити, до чого розвивається та чи інша відмова технічної системи, а з допомогою другого можна прослідкувати усі причини, що 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 при 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 і описати наслідки від зазначених ситуацій та збиток від них.

Експертний підхід використовується при недостатності вихідних даних і при його застосуванні 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 з 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.

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

Тому із існуючих методик кількісної оцінки 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, 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, то виникає необхідність у оцінці ризику при експлуатації плунжерних пар дизелів шляхом отримання кількісних результатів його показників і здійсненні процедури їх перевірки у порівнянні з допустимим рівнем ризику. Останній, як відомо [4,24,22], визнається таким при існуючих суспільних цінностях.

Крім того, така процедура є необхідною для управління ризиками, у т.ч. і при експлуатації дизелів з плунжерними парами, з метою приведення їх рівнів до допустимих, здійснення організаційної діяльності, яка включає не лише аналіз та оцінювання ризиків, а і розробку та впровадження захисних заходів з оцінкою їх результативності. Це пов'язане з тим, що не тільки експерти розуміють, у відповідності до аксіоми безпеки життєдіяльності, неможливість існування у наш час виробництва без будь-якого ризику для життя і діяльності персоналу.

### Результати дослідження

Слід зазначити, що у період, коли Україна намагається вступити до Євросоюзу, відповідно до його стандартів системи OHSAS, основою для планування і розробки заходів з охорони праці повинні бути кількісні показники виробничого ризику, які врахували би особливості виробництва, можливості людини-оператора т. ін. [7,8,20,21]. На сучасному розвитку суспільства значний внесок у розробку і відновлення методів і засобів визначення виробничого ризику внесли роботи таких відомих вчених, як Хенлі Е., Кумамото Х., Гогіташвілі Г.Г., Белов С.В., Мінько В.М., Пашковський П.С., Ткачук К.Н., Беліков А.С., Голишев О.М., Кружилко Л.С., Измеров М.Т., Корчагін А.Б., Панферова І.В., Живетін В.Б. та ін. [1,2,4,7,8,10,13,16,23,26].

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

$$R = \sum_{i=1}^N P_i \cdot C_i, \quad (1)$$

де  $R$  – ризик нанесення збитку, пов'язаного з можливістю реалізації  $i$ -го варіанту однієї з

виявлених небезпек [1,3,6].

Такий підхід до оцінки ризиків для випадку, що розглядається є прийнятним не дивлячись на свою 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 з використанням матриці ризиків, яка за [1] в залежності від ступеня небезпеки і 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.	У випадку аварії (інциденту)	3	3	2	2
2.	При виконанні ремонтних, пусконаладжувальних робіт	3	2	2	2
3.	При обслуговуванні обладнання	2	2	2	1
4.	Постійно на робочому місці (при виконанні даного виду роботи)	2	2	1	

А метод оцінки ризиків на основі матриці «імовірність – збиток» надає можливість кількісного оцінювання подій, які призведуть, наприклад, до відмови плунжерної пари з-за її зношення чи появи дефектних локальних місць на поверхнях, які суттєво впливають на працездатність паливного насосу 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 надається 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) у залежності 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 \ Ранг збитку	Низька імовірність (0,3)	Середня імовірність (0,7)	Висока імовірність (1)
Великий	0,3	0,7	1
Середній	0,2	0,5	0,7
Малий	0,1	0,2	0,3

Не дивлячись на те, що завдяки своїй простоті цей метод використовується у розвинутих країнах, він може бути прийнятим лише для грубої, причому, суб'єктивної кількісної оцінки ризику, оскільки не лише однотипні, а 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 при оцінці 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 табл. 3 наведено відповідність значення імовірності настання події вербальному типу ситуації з описом умов її виникнення.

Оскільки у результаті настання однієї і тієї ж події можливий розвиток різних наслідків, то 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.

Головною сутністю такого метода є наступне – якщо не гарантується виключення несприятливого наслідку, то він раніше чи пізніше наступить. Основним недоліком метода вербальних функцій є те, що за його допомогою ризик оцінюється без визначення частоти події, яка передбачається, тому така оцінка не у повній мірі відповідає ризику, як такому, і вона буде завищеною.

Існують також інші методи оцінки 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 є прийнятними з-за вказаного вище недоліку для використання у варіанті, що розглядається, а саме, можливих відмов у роботі дизеля транспортних засобів з-за зношення плунжерної пари.

**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.
.....	.....	.....

Основними причинами для такого висновку є те, що:

- перший з вказаних методів базується на припущеннях, по-перше, про можливість врахування 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 є прийнятними, оскільки однією з аксіом БЖД є те, що ризик, пов'язаний з об'єктами чи діяльністю, неможливо усунути повністю без ліквідації цього об'єкту або припинення діяльності;

- другий є непрямим методом кількісної оцінки 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 у існуючі на об'єкті невідповідності. Це викривляє дійсний стан ризиків об'єкту і не дозволяє планувати заходи з охорони праці, враховуючи їх значимість і

пріоритет окремих захисних заходів у загальній їх кількості.

Третій метод оцінки 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 можна призвести до 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:

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

Але, не дивлячись на те, що цей індекс є більш прогресивним, оскільки дозволяє точніше оцінювати рівень ризиків та вказувати на першочергові або найбільш результативні заходи, він, як і індекс Елмері, не є безпосередньо пов'язаним з наявністю та оцінкою ризиків на робочому місці. Це, а також його базування на припущенні відносно того, що тяжкість наслідків, пов'язаних з можливими небезпеками, вже є врахованою у вимогах нормативних документах з охорони праці шляхом їх віднесення до визначених її рівнів у СУОП – державних, галузевих та об'єктних, є недоліком вказаного методу оцінки ризиків. Його використання не дозволяє встановити причинно-наслідковий зв'язок 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, які є характерними для технічної системи. Сам процес розвитку небезпеки, можна надати у такій логічній послідовності (рис. 2), коли порушення технологічного процесу, допустимих меж експлуатації, умов утримання і т. ін., призводить до утворення та накопичення уражаючих чинників і врешті-решт – до аварії технологічної системи, руйнування конструкції, утворенню та викиду уражаючих чинників з їх дією на конкретний об'єкт (навколишнє природне середовище, людину, об'єкт техносфери і т. ін.), і, відповідно, до реакції цього об'єкта на уражаючу дію.

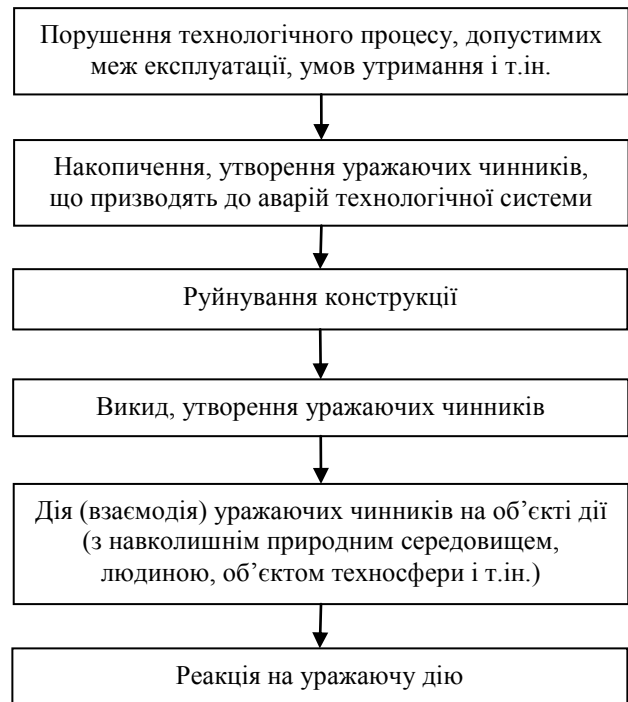


Рис. 2. Схема процесу розвитку небезпеки / The scheme of development hazards

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

Оскільки, при проектуванні і експлуатації технічних систем не у повній мірі враховується принцип їх внутрішньої безпеки, тобто у них замало захисних ресурсів, достатніх для виключення дестабілізуючих чинників, то у цьому полягає причина зростання кількості і тяжкості надзвичайних ситуацій. Це у повній мірі стосується і використання в паливних насосах високого тиску (ПНВТ) дизельних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) плунжерних пар, а також необхідності швидкого і якісного їх відновлення. Особливу актуальність набуває питання віднайдення методів і засобів його здійснення без зупинки і розборки ДВЗ.

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

$$Y = \sum_{i=1}^N \tilde{Y}_i \cong \hat{a}(\Delta t) \cdot \bar{y}, Y = \sum_{i=1}^N \hat{Y}_i \cong \hat{a}(\Delta t) \cdot \bar{y}, \quad (4)$$

де  $\bar{y}$  – середній збиток при реалізації небезпечної події;  $\hat{a}(\Delta t)$  – математичне очікування кількості подій за прийнятий до розрахунку термін.



Рис. 3. Схема логічної послідовності розвитку небезпеки /  
Shema logichnoi' poslidovnosti rozvytku nebezpeky

Такий підхід дозволяє у рамках системного аналізу:

- дослідити причинно-наслідковий механізм виникнення НС;
- спрогнозувати їх частоту та можливі збитки;
- врахувати вплив як технологічних, конструктивних і 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.

Зрозуміло, що аварія сама по собі ніколи не відбувається, їй передують процес накопичення дефектів технічної системи, які виникають, у т.ч. з-за зношення деталей і вузлів, а також – відхилень від нормального протікання технологічних процесів. А, оскільки, працівники не помічають цей процес внаслідок психофізіологічних причин (неуважності до виконання регламентних процедур, недостатньої інформації про роботу системи і т. ін.), то у них відсутнє і почуття небезпеки.

На другому етапі розвитку аварійної ситуації, яка може змінюватися з-за незначної події або впливу на технічну систему, працівники у своїх діях починають кидатися з однієї сторони в іншу у пошуках правильного вирішення проблеми, і, не володіючи у повній мірі даними про стан системи, тільки пришвидшують розвиток НС і обтяжують її наслідки.

На третьому етапі зовсім незначна але несподівана подія призводить до того, що система перестає підкорюватися діям оператора і відбувається аварія.

Таким чином, оцінка надійності технічної системи є одним 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 рис. 4, за [1], надано 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 знаходитися в інтервалі між 0 і 1, тобто  $0 \leq P(t) \leq 1$ . Тоді імовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ , і імовірність відмови створюють повну групу подій, а отже

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

Допустимо значення  $P(t)$  вибирається у залежності від ступеня небезпеки відмови, зокрема, при високих вимогах 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  $\gamma$  використовується у долях 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.

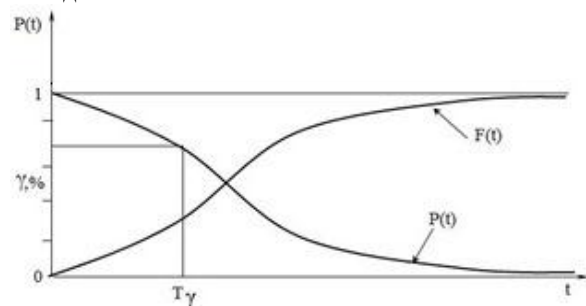


Рис. 4. Графік залежності імовірності безвідмовної роботи  $P(t)$  і імовірності відмови  $F(t)$  технічного об'єкта від заданого інтервалу часу експлуатації  $t = T$  /  
Graph of the probability of failure-free operation  $R(t)$  and probability of failure  $F(t)$  the technical facility of a given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

Раптові відмови можна оцінювати [5,10] інтенсивністю відмов  $\lambda$ , яка є імовірністю виникнення відмови в одиницю часу, тобто  $\lambda$ , 1/год., за умови, що відмова не виникла до цього часу

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

А за основною закономірністю теорії надійності,

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

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

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

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

$$T_{сер} = \frac{1}{\lambda} \quad (9)$$

значення  $P(t)$  можна записати у вигляді

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T_{сер}}}, \quad (10)$$

а при  $P(t) > 0,9$

$$P(t) = 1 - \lambda t = 1 - \frac{t}{T_{сер}}, \quad (11)$$

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

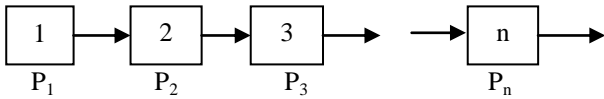


Рис.5. Структурна схема надійної роботи технічної системи /

*Block diagram of reliable technical systems*

При такій схемі 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, які побудовані з елементів високої надійності, можуть мати низьку надійність з-за певної кількості таких елементів. І при несподіваних відмовах, що підкоряються експоненціальному закону резервування де  $\lambda_0 = \sum_{i=1}^n \pi_i$ , 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 знаходяться у однакових з ними режимах роботи, то відмова системи може відбутися тільки при відмові усіх її елементів, у т.ч. і дублюючих.

За теоремою множення у цьому випадку імовірність сумісного прояву усіх 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, при такому (паралельному) резервуванні 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 по інтенсивності відмов  $\lambda$ , наведених в [1,3...6,8,9,15,16,25,26], у табл. 4 складено перелік подій, розраховано їх інтенсивності при напрацюванні на відмову у  $t = 20000$  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 $\lambda$ , год	Імовірність безвідмовної роботи $P_i$
1	2	3	4
1.	Негерметичність паливопроводу	$3 \cdot 10^{-4}$	0,548
2.	Забруднення паливного фільтра	$0,9 \cdot 10^{-4}$	0,835
3.	Попадання води у 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.	Попадання води у колектор і надпор-шневий 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 насосу	$2,5 \cdot 10^{-4}$	0,607
9.	Зіскакування або ослаблення ремня приводу ПНВТ і ГРМ	$0,3 \cdot 10^{-4}$	0,942
10.	Обрив ремня приводу ПНВТ і ГРМ	$0,15 \cdot 10^{-4}$	0,97
11.	Перерви у 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 валу	$0,12 \cdot 10^{-4}$	0,97
19.	Зношення клапанів, сідел і інших елементів газорозподільного механізму (ГРМ)	$0,15 \cdot 10^{-4}$	0,97
20.	Вихід з ладу розподільчих валів	$0,35 \cdot 10^{-4}$	0,932
21.	Вихід з ладу впускного колектора	$0,15 \cdot 10^{-4}$	0,97
22.	Вихід з ладу випускного 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



1	2	3	4
25.	Вихід з ладу термостату	$0,15 \cdot 10^{-4}$	0,97
26.	Вихід з ладу радіатора системи охолодження	$0,15 \cdot 10^{-4}$	0,97
27.	Зношення або залягання масло-з'ємних 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 блоку циліндрів	$0,55 \cdot 10^{-4}$	0,895
35.	Вихід з ладу головки блоку 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 валу	$0,9 \cdot 10^{-4}$	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

1	2	3	4
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 блоку управління	$0,56 \cdot 10^{-4}$	0,895
48.	Порушення регулювання відсічного клапану	$0,9 \cdot 10^{-4}$	0,835
49.	Зношення відсічного клапану	$0,75 \cdot 10^{-4}$	0,861
50.	Відсутність електричної напруги на центральному електроді електромагнітного клапану з-за зіскакування клем проводу або його обриву	$0,65 \cdot 10^{-4}$	0,878
51.	Окислення 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 у період виникнення у процесі її експлуатації небезпечної критичної, або аварійної ситуації, то прийнято до уваги, що відмова ДВЗ може відбутися внаслідок параметричної і функціональної відмови.

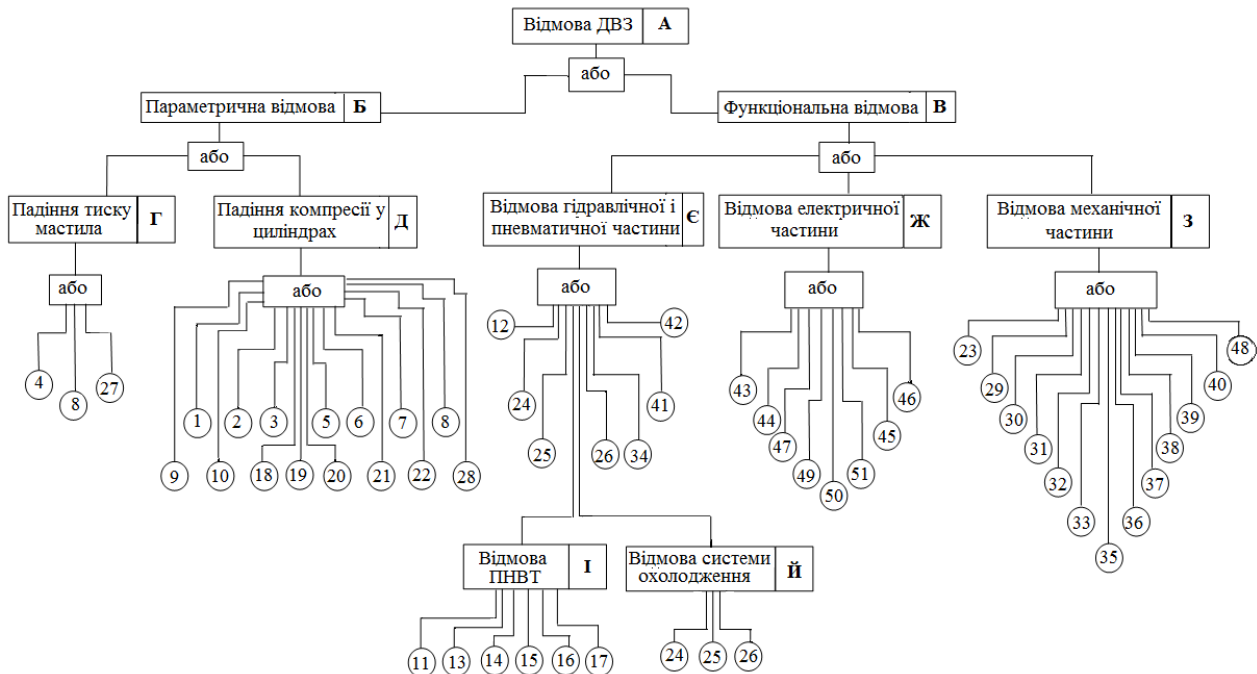


Рис.6. Структурна схема «дерева відмов» дизельного ДВЗ з ПНВТ, оснащеним плунжерною парою / Block diagram of the "fault tree" of diesel combustion engines with fuel injection pump equipped with a pair plunzhernuyu

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:

$$1. Q_\Gamma = 1 - P_4 \cdot P_8 \cdot P_{27}; \quad (17)$$

$$2. Q_Z = 1 - P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_5 \cdot P_6 \cdot P_7 \cdot P_9 \cdot P_9 \cdot P_{10} \cdot P_{18} \cdot P_{19} \cdot P_{20} \cdot P_{21} \cdot P_{22} \cdot P_{28}; \quad (18)$$

$$Q_B = 1 - P_\Gamma \cdot P_D; \quad (19)$$

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

$$Q_{\text{Й}} = 1 - P_{24} \cdot P_{25} \cdot P_{26}; \quad (21)$$

$$Q_E = 1 - P_1 \cdot P_{\text{Й}} \cdot P_{12} \cdot P_{34} \cdot P_{41} \cdot P_{42}; \quad (22)$$

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

$$Q_3 = 1 - P_{23} \cdot P_{29} \cdot P_{30} \cdot P_{31} \cdot P_{32} \cdot P_{33} \cdot P_{35} \cdot P_{36} \cdot P_{37} \cdot P_{38} \cdot P_{39} \cdot P_{40} \cdot P_{48}; \quad (24)$$

$$Q_V = 1 - P_E \cdot P_{\text{Ж}} \cdot P_3; \quad (25)$$

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

Підставляючи значення інтенсивності відмов із табл. 4 у формулу 17...26 отримуємо:

$$1. Q_\Gamma = 1 - 0,878 \cdot 0,607 \cdot 0,932 = 1 - 0,496 = 0,504 \cdot 10^{-1};$$

$$2. Q_Z = 1 - 0,548 \cdot 0,835 \cdot 0,97 \cdot 0,835 \cdot 0,97 \cdot 0,803 \cdot 0,607 \cdot 0,942 \cdot 0,97 \cdot 0,97 \cdot 0,97 \cdot 0,932 \cdot 0,97 \cdot 0,91 = 1 - 0,1217 = 0,8783 = 8,783 \cdot 10^{-1};$$

$$3. Q_B = 1 - 0,496 \cdot 0,1217 = 1 - 0,0604 = 0,9396 = 9,396 \cdot 10^{-1};$$

$$4. Q_i = 1 - 0,813 \cdot 0,718 \cdot 0,741 \cdot 0,79 \cdot 0,67 \cdot 0,607 = 1 - 0,1373 = 0,8627 = 8,627 \cdot 10^{-1};$$

$$5. Q_{\text{Й}} = 1 - 0,878 \cdot 0,97 \cdot 0,97 = 1 - 0,826 = 0,174 = 1,74 \cdot 10^{-1};$$

$$6. Q_E = 1 - 0,986 \cdot 0,174 \cdot 0,98 \cdot 0,895 \cdot 0,98 \cdot 0,878 = 1 - 0,1295 = 0,8705 = 8,7 \cdot 10^{-1};$$

$$7. Q_{\text{Ж}} = 1 - 0,917 \cdot 0,878 \cdot 0,861 \cdot 0,895 \cdot 0,835 \cdot 0,878 \cdot 0,98 \cdot 0,923 = 1 - 0,4927 = 0,5073 = 5,073 \cdot 10^{-1};$$

$$8. Q_3 = 1 - 0,97 \cdot 0,718 \cdot 0,942 \cdot 0,481 \cdot 0,878 \cdot 0,917 \cdot 0,97 \cdot 0,917 \cdot 0,835 \cdot 0,97 \cdot 0,917 \cdot 0,835 \cdot 0,97 = 1 - 0,1108 = 0,8892 = 8,892 \cdot 10^{-1};$$

$$9. Q_V = 1 - 0,0661 \cdot 0,4927 \cdot 0,1108 = 1 - 0,00361 \cdot 0,9964 = 9,964 \cdot 10^{-1};$$

$$10. Q_A = 1 - 0,0604 \cdot 0,00361 = 1 - 0,000218 = 0,99978 = 9,9978 \cdot 10^{-1};$$

Таким чином, імовірність безвідмовної роботи дизельного ДВЗ з зазначеним ПНТВ дорівнює  $Q_A = 9,9978 \cdot 10^{-1}$ , а імовірність його відмови визначається з  $P(t) + Q(t) = 1$ , і, відповідно  $P(t) = 1 - Q(t) = 0,572 = 5,7 \cdot 10^{-1}$ .

1.  $P_\Gamma = 1 - Q_\Gamma = 0,496 = 4,96 \cdot 10^{-1}$ ;
2.  $P_D = 1 - Q_D = 0,899 = 8,99 \cdot 10^{-1}$ ;
3.  $P_B = 1 - Q_B = 0,4459 = 4,46 \cdot 10^{-1}$ ;
4.  $P_1 = 1 - Q_1 = 0,2877 = 2,877 \cdot 10^{-1}$ ;

$$5. P_{\text{Й}} = 1 - Q_{\text{Й}} = 0,826 = 8,26 \cdot 10^{-1}$$

$$6. P_E = 1 - Q_E = 0,148 = 1,48 \cdot 10^{-1}$$

$$7. P_{\text{Ж}} = 1 - Q_{\text{Ж}} = 0,4927 = 4,927 \cdot 10^{-1}$$

$$8. P_3 = 1 - Q_3 = 0,1108 = 11,08 \cdot 10^{-1}$$

$$9. P_V = 1 - Q_V = 0,0081 = 8,1 \cdot 10^{-3}$$

$$10. P_A = 1 - Q_A = 1 - 0,99964 = 0,00036 = 3,6 \cdot 10^{-4}$$

### Наукова новизна і практична значимість

Математичним моделюванням і розрахунком, з використанням встановлених причин відмов або збоїв у роботі дизельного ДВЗ з ПНТВ, оснащеним плунжерною парою, і складеному на їх основі переліку подій з визначеною інтенсивністю, при напрацюванні на відмову у  $t = 2000$  год., та побудованого «дерево відмов» отримано величину імовірності безвідмовної роботи такого ДВЗ, яка дорівнює  $Q_A = 9,9978 \cdot 10^{-1}$ , та імовірність його відмови  $P(t) = 1 - Q(t) = 0,572 = 5,7 \cdot 10^{-1}$ .

### Висновки

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

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

3. Встановлено, 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 ПНТВ з плунжерною парою, можна використовувати таку структурну схему її надійної роботи, при якій 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. Багров, А.В. Техногенные системы и теория риска / А.В. Багров, А.К. Муртазов. – Рязань: Рязанский гос. ун-т им. С.А. Есенина, 2010. – 207 с.

Bagrov A.V. Tehnogennyye sistemy i teoriya riska / A.V. Bagrov, A.K. Murtazov. – Rjazan': Rjazanskij gos. un-t im. S.A. Esenina, 2010. – 207 s.

2. Беликов, А.С. Специальные средства по обеспечению безопасного ведения работ в экстремальных ситуациях / А.С. Беликов, В.А. Шаломов, Л.А. Чередниченко, А.С. Чапльгин, Ю.А. Фурнье // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск: ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»,

2011. – Вып. 62. – С. 73–78.

Belikov A.S. Special'nye sredstva po obespecheniju bezopasnogo vedenija rabot v jekstremal'nyh situacijah / A.S. Belikov, V.A. Shalomov, L.A. Cherednichenko, A.S. Chaplygin, Ju.A. Furn'e // Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie. – Dnepropetrovsk: GVUZ «Pridneprovskaja gosudarstvennaja akademija stroitel'stva i arhitektury», 2011. – Vyp. 62. – S. 73–78.

3. Белов, П.Г. Менеджмент техногенного риска: категории, принципы, методы / П.Г. Белов, А.И. Гражданкин // Стандарты и качество, 2004. – №7. – С. 36–41.

Belov P.G. Menedzhment tehnogennoho riska: kategorii, principy, metody / P.G. Belov, A.I. Grazhdankin // Standarty i kachestvo, 2004. – №7. – С. 36–41.

4. Белов, П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере / П.Г. Белов. – Москва: Изд. центр Академии ГЗ МЧС РФ, 2003. – 512 с.

Belov P.G. Sistemnyj analiz i modelirovanie opasnyh processov v tehnosfere / P.G. Belov. – Moskva: Izd. centr Akademii GZ MChS RF, 2003. – 512 s.

5. Ветошкин, А.Г. Техногенный риск и безопасность / А.Г. Ветошкин, К.Р. Таранцева // Учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. – 171 с.

Vetoshkin A.G. Tehnogennyj risk i bezopasnost' / A.G. Vetoshkin, K.R. Taranceva // Uchebnoe posobie. – Penza: Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2001. – 171 s.

6. Владимиров, В.А. Оценка риска и управление техногенной безопасностью: Монография / В.А. Владимиров, В.И. Измалков, А.В. Измалков. – Москва: ФИД «Деловой экспресс», 2002. – 184 с.

Vladimirov V.A. Ocenka riska i upravlenie tehnogennoj bezopasnost'ju: Monografija / V.A. Vladimirov, V.I. Izmailkov, A.V. Izmailkov. – Moskva: FID «Delovoj jekspress», 2002. – 184 s.

7. Гогіташвілі, Г.Г. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами: Навч. посіб. / Г.Г. Гогіташвілі, С.Т. Карчевські, В.М. Лапін – Київ: Знання, 2007. – 367 с.

Gogitashvili G.G. Upravlinnja ohoronoju praci ta ryzykom za mizhnarodnymy standartamy: Navch. posib. / G.G. Gogitashvili, Je.T. Karchevs'ki, V.M. Lapin – Kyi'v: Znannja, 2007. – 367 s.

8. 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.

Zhivetin V.B. Vvedenie v analiz riska. Serija «Riski i bezopasnost' chelovecheskoj dejatel'nosti» kniga 1 / V.B. Zhivetin. – Moskva: Inform – izd. Centr «Bon Anca», 2008. – 384 s.

9. Касьянов, М.А. Дослідження виробничого ризику у ковальсько-пресових цехах / М.А. Касьянов, Д.О. Вишневецький, І.В. Савченко, О.М. Гунченко: Монографія. – Луганськ: Ноулідж, 2014. – 224 с.

Kas'janov M.A. Doslidzhennja vyrobnychoho ryzyku u koval's'ko-presovyh cehah / M.A. Kas'janov, D.O. Vyshnevsk'ij, I.V. Savchenko, O.M. Gunchenko: Monografija. – Lugans'k: Noulidzh, 2014. – 224 s.

10. Корчагин, А.Б. Надежность технических систем и техногенный риск: уч. пособие в 2-х ч. – Ч.2. Практикум / А.Б. Корчагин, В.С. Сердюк, А.И. Бокарев. – Омск: изд-во ОмГТУ, 2011. – 140 с.

Korchagin A.B. Nadezhnost' tehnicheskikh sistem i tehnogennyj risk: uch. posobie v 2-h ch. – Ch.2. Praktikum / A.B. Korchagin, V.S. Serdjuk, A.I. Bokarev. – Omsk: izd-vo OMGTU, 2011. – 140 s.

11. Красовский, В.О. Применение формализованных математических методов для гигиенической оценки производственной среды / В.О. Красовский, Н.Н. Красногорская, Е.А. Королева // Безопасность жизнедеятельности, 2004. № 2. – С. 10-16.

Krasovskij V.O. Primenenie formalizovannyh matematicheskikh metodov dlja gigienicheskoj ocenki

proizvodstvennoj sredy / V.O. Krasovskij, N.N. Krasnogorskaja, E.A. Koroleva // Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti, 2004. № 2. – S. 10-16.

12. Крохоткин, Ю.М. Дизельные двигатели иномарок. Отказы и неудовлетворительная работа. Причины и способы устранения / Ю.М. Крохоткин. – Москва: Легион-Автодата, 2000. – 76 с.

Krohoktin Ju.M. Dizel'nye dvigateli inomarok. Otkazy i neudovletvoritel'naja rabota. Prichiny i sposoby ustraneniya / Ju.M. Krohoktin. – Moskva: Legion-Avtodata, 2000. – 76 s.

13. Кружилко, О.Є. Наукові засади оперативного управління охороною праці: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.26.01 / О.Є. Кружилко; ДУ «ННДІПБОП». – Київ, 2011. – 36 с.

Kruzhilko, O.E. Naukovi zasady operativnogo upravlinnja ohoronoju praci: avtoref. dis. ... dokt. tehn. nauk: 05.26.01 / O.E. Kruzhilko; DU «NNDIPBOP». – Kiiv, 2011. – 36 s.

14. Леонтьев, А.П. Повышение долговечности плужерных пар топливных насосов высокодавления судовых дизелей нанесением износостойких покрытий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.08.04 «Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства» / А.Л. Леонтьев: Морской гос. ун-т им. адмирала Г.И. Невельского – Владивосток, 2012. – 22 с.

Leont'ev, A.P. Povyshenie dolgovechnosti pluzhernyh par toplivnyh nasosov vysokogodavlenija sudovyh dizelej naneseniem iznosostojkih pokrytij: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.08.04 «Tehnologija sudostroenija, sudoremonta i organizacija sudostroitel'nogo proizvodstva» / A.L. Leont'ev: Morskoy gos. un-t im. admirala G.I. Nevel'skogo – Vladivostok, 2012. – 22 s.

15. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов: ГОСТ Р 51901.12–2007, (IEC 60812:2006) – [Дата введения 09.01.2008]. Москва: Стандартиформ, 2008. – 36 с.

Menedzhment riska. Metod analiza vidov i posledstvij otkazov: GOST R 51901.12–2007, (IEC 60812:2006) – [Data vvedeniya 09.01.2008]. Moskva: Standartinform, 2008. – 36 s.

16. Минько, В.М. Математическое моделирование в управлении охраной труда / В.М. Минько. – Калининград: ФГУНПП «Янтарный сказ», 2002. – 184 с.

Min'ko V.M. Matematicheskoe modelirovanie v upravlenii ohranoy truda / V.M. Min'ko. – Kaliningrad: FGUNPP «Jantarnyj skaz», 2002. – 184 s.

17. Мирзоахмедов, Ф.М. Математические модели и методы управления производством с учётом случайных факторов / Ф.М. Мирзоахмедов. – Киев: Наукова думка, 1991. – 224 с.

Mirzoahmedov F.M. Matematicheskije modeli i metody upravlenija proizvodstvom s uchjotom sluchajnyh faktorov / F.M. Mirzoahmedov. – Kiev: Naukova dumka, 1991. – 224 s.

18. Мозговой, И.В. Исследование процесса изнашивания плунжерных пар топливной аппаратуры и реализация метода безразборного восстановления / И.В. Мозговой, Н.Г. Макаренко, Е.В. Доровских // Омский научный вестник. – Омск, 2010, вып. № 3(93). – С. 110-112.

Mozgovoj I.V. Issledovanie processa iznashivaniya plunzhernyh par toplivnoj apparatury i realizacija metoda bezrazbornogo vosstanovlenija / I.V. Mozgovoj, N.G. Makarenko, E.V. Dorovskih // Omskij nauchnyj vestnik. – Omsk, 2010, vyp. № 3(93). – S. 110-112.

19. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичность отказов. Основные положения: ГОСТ 27.310–95. – [Дата введения 01.01.1997]. – Минск: Изд. стандартов, 1996. – 19с.

Nadezhnost' v tehnikе. Analiz vidov, posledstvij i kritichnost' otkazov. Osnovnye polozhenija: GOST 27.310–95. – [Data vvedeniya 01.01.1997]. – Minsk: Izd. standartov, 1996. – 19s.

20. Національний стандарт України ДСТУ ISO 9001:2015 Системи управління якістю. Вимоги. – На заміну ДСТУ ISO 9001:2015 (прийнятого методом

підтвердження); надано чинності з 2016-07-01. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 20 с.

Nacional'nyj standart Ukrainy DSTU ISO 9001:2015 Systemy upravlinnja jakistju. Vymogy. – Na zaminu DSTU ISO 9001:2015 (pryjnjatogo metodom pidtverdzhennja); nadano chynnosti z 2016-07-01. – Kyi'v: DP «UkrNDNC», 2016. – 20 s.

21. Національний стандарт України ДСТУ OHSAS 18001:2010. Системи управління гігієною та безпекою праці. Вимоги. – На заміну ДСТУ-П OHSAS 18001:2006; надано чинності з 2011-01-01. – Київ: Держспоживстандарт України, 2010. – 20 с.

Nacional'nyj standart Ukrainy DSTU OHSAS 18001:2010. Systemy upravlinnja gigijenoju ta bezpekoju pracj. Vymogy. – Na zaminu DSTU-P OHSAS 18001:2006; nadano chynnosti z 2011-01-01. – Kyi'v: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2010. – 20 s.

22. Севастьянов, Б.В. Методы количественных оценок в менеджменте производственных и профессиональных рисков / Б.В. Севастьянов, И.Ю. Лобова // Безопасность в техносфере. – 2008. – № 1 (январь-февраль) – С. 13-18.

Sevast'janov B.V. Metody kolichestvennyh ocenok v menedzhmente proizvodstvennyh i professional'nyh riskov / B.V. Sevast'janov, I.Ju. Lobova // Bezopasnost' v tehnosfere. – 2008. – № 1 (janvar'-fevral') – S. 13-18.

23. Ткачук, К.Н. Методика визначення соціально-економічної ефективності заходів щодо поліпшення умов і охорони праці / К.Н. Ткачук, М.О. Лисюк, І.А. Лучко,

А.О. Водяник, С.П. Ткачук, Г.Г. Лесенко, В.І. Гордань. – Київ: Основа, 1999. – 95 с.

Tkachuk K.N. Metodyka vyznachennja social'no-ekonomichnoi' efektyvnosti zahodiv shhodo polipshennja umov i ohorony pracj / K.N. Tkachuk, M.O. Lysjuk, I.A. Luchko, A.O. Vodjanyk, S.P. Tkachuk, G.G. Lesenko, V.I. Gordan'. – Kyi'v: Osnova, 1999. – 95 s.

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

Fedorec A.G. Nauchno-metodicheskie osnovy upravlenija proizvodstvennymi riskami na rabochih mestah / A.G. Fedorec // Bezopasnost' v tehnosfere. – 2007. – №6. – S. 18-27.

25. Хазов, Б.Ф. Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования / Б.Ф. Хазов, Б.А. Дидусев. – Москва: Машиностроение, 1986. – 224 с.

Hazov B.F. Spravochnik po raschetu nadezhnosti mashin na stadii proektirovanija / B.F. Hazov, B.A. Didusev. – Moskva: Mashinostroenie, 1986. – 224 s.

26. Хенли Е.Дж., Кумамото Х. Надёжность технических систем и оценка риска. Пер. с англ. Под ред. В.С. Сыромятникова. – Москва: Машиностроение, 1984. – 528 с.

Henli E.Dzh., Kumamoto H. Nadezhnost' tehnicheskih sistem i ocenka riska. Per. s angl. Pod red. V.S. Syromjatnikova. – Moskva: Mashinostroenie, 1984. – 528 s.

Поступила до редколегії 31.10.2016