УДК 519.226.3

В. П. Яглінський, д.т.н., **С. С. Гутиря,** д.т.н., **В. В. Вовк**

Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна

МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ ЗРАЗКІВ КІНЕМАТИЧНИХ ПАР РОБОТІВ-ВЕРСТАТІВ

В статті розглянуті питання надійності механізмів верстатів-роботів на стадіях передпроектних досліджень та експериментальних випробувань. Відмови механізмів у складі роботів-верстатів у відповідності зі своєю фізичною природою можуть бути пов'язані з руйнуванням вузлів і деталей механізмів та їх приводів, заклинюванням окремих елементів та інших причин, які призводять до того, що технологічне обладнання стає не спроможним до виконання своїх функцій. Для визначення усередненого параметра потоку відмов використана формула Райса. Запропоновано дослідження надійності виконувати за такими трьома основними етапами: побудова на основі теоретичних або експериментальних досліджень залежності вихідного параметра від показників навантаженності; ретельний статистичний аналіз умов експлуатації, імовірнісний опис показників навантаженності; побудова розподілу вихідного параметра.

***Ключові слова*:** *імовірнісна модель, статистична оцінка, параметр потоку відмов, критеріальний параметр, середня швидкість зношування.*

V. P. Yahlinskyi, DSc, **S. S. Hutyria** DSc, **V. V. Vovk**

MODEL FOR CALCULATING THE RELIABILITY OF SAMPLES OF KINEMATIK PAIRS OF MACHINE-ROBOTS

In the article, the reliability issues of machine tool mechanisms are still more at the stages of pre-project studies and experimental tests. In connection with the introduction of highly effective technological processes, systems of automated design and production, complex systems that provide a high level of labor productivity, the requirements for reliability, durability and workability are constantly growing. Failures of mechanisms in the composition of robotic machines, in accordance with their physical nature, can be associated with the destruction of nodes and details of mechanisms and their drives, jamming of individual elements and other reasons that lead to the fact that the technological equipment becomes unable to perform its functions. Rice's formula was used to determine the average parameter of the flow of rejections. To estimate the average parameter of the flow of failures, it is necessary to know the density of the joint distribution of the state parameter and the rate of its change over time. In many cases, such processes are described by a stationary random function with a normal law of distribution of both the state parameter and the rate of its change. Parametric failures precede functional failures, and can also cause them. Sudden failures are considered in a quasi-static formulation as the process of a random sequence of parameters exceeding the permissible limits in space. It is proposed to carry out the reliability study in the following three main stages: construction on the basis of theoretical or experimental studies of the dependence of the initial parameter on load indicators; thorough statistical analysis of operating conditions, probabilistic description of load indicators; construction of the distribution of the initial parameter. The algorithm for calculating system reliability indicators is presented, the initial parameter of which is presented in the form of a random sequence, imitating the work of a certain number of samples of the machine-work kinematic pair in real operational conditions up to their complete wear. The initial basic size and criterion parameter for each sample are determined by the Monte Carlo method.

***Keywords**: probabilistic model, statistical evaluation, failure flow parameter, criterion parameter, average wear rate.*

DOI 10.32684/2412-5288-2022-1-20-37-43

Вступ. Удосконалення машинобудівної галузі відбувається разом із підвищенням вимог до якості, надійності та довговічності деталей машин. Наука про надійність і довговічність у період бурхливого розвитку техніки потребує комплексного підходу до вирішення нагальних проблем технічного рівня технологічного обладнання. У зв'язку з впровадженням високоефективних

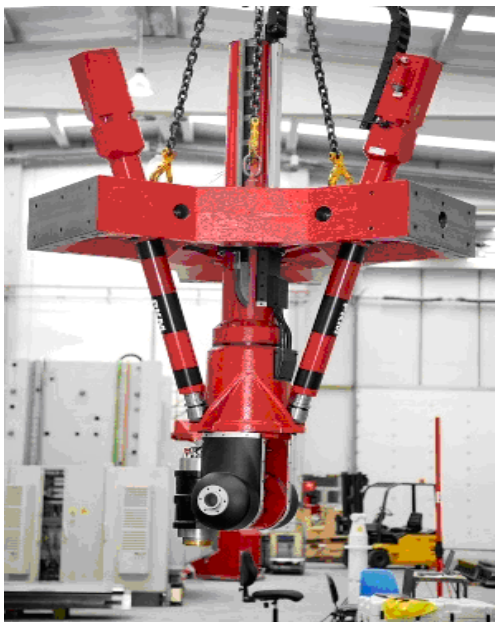
технологічних процесів, систем автоматизованого проектування та виробництва, складних систем, що забезпечують високий рівень продуктивності праці, вимоги до надійності, довговічності та працездатності постійно зростають.

Постановка проблеми в загальному виді. Високонадійні машини, системи управління, технологічні процеси дозволяють скоротити витрати на ремонт та експлуатацію, забезпечити безпеку обслуговуючого персоналу та людей, які користуються сучасною технікою. Вартість ремонту та обслуговування більшості машин у кілька разів вище вартості виготовлення нових машин. Тому тривалість безвідмовної роботи технічного устрою повинна бути такою, щоб витрати на експлуатацію принаймні не перевищували витрат на виготовлення.

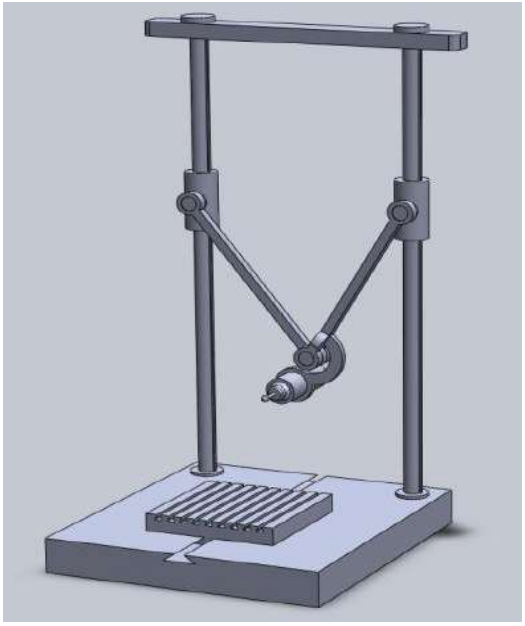
Пріоритетними є дослідження і прогнозування надійності складових елементів механізмів роботів-верстатів на стадії передпроектних розробок.

Аналіз останніх досягнень і публікацій.

Використання автоматизованих та робототехнічних комплексів дозволяє суттєво збільшити продуктивність праці, підвищити якість продукції, спростити переналагодження обладнання та забезпечити перехід до гнучких автоматизованих виробництв, найважливішою складовою яких є промислові роботи-маніпулятори та промислові платформи [1, 2]. Серед технологічного обладнання машинобудівних підприємств широкого поширення набули роботи-верстати на основі механізмів паралельної структури [3, 4] (рис. 1).



а)



б)

в)

Рисунок 1 – Роботи-верстати з механізмами паралельної структури:
а) типу трицепт; б) типу біглайд; в) типу гексапод

У випадках, коли роботоздатність об’єкту характеризується сукупністю значень деяких технічних параметрів, то ознакою виникнення на верстаті-роботі, зменшення тиску в гідроприводах маніпуляторів та штангах гексаподу, тощо, нероботоздатним з погляду вимог, установлених нормативно-технічною документацією, відмови є вихід значень кожного із цих параметрів за межі допуску звичайно не порушують подальше функціонування обладнання, однак воно стає реально.

Такі відмови називають параметричними [5, 6], Наприклад, порушення точності обробки

Дуже часто параметричні відмови передують відмовам функціонування, а також можуть їх спричиняти. Роботизоване обладнання системної складності складається із багатьох елементів, які можуть бути відремонтовані або замінені. Поширений показник надійності – наробіток до відмови, тобто наробіток об'єкта від початку експлуатації до виникнення першої відмови. До показників безвідмовності й довговічності, що використовують при проектуванні об'єктів машинобудування, відносять кількісні характерис тики, опрацьовані у статистичній теорії надійності [7, 8], Ця теорія описує функціонування великої кількості об'єктів, які виготовляють та експлуатують у статистично однорідних умовах. На практиці прийнято застосовувати цю теорію також й до об'єктів, що випускають малими серіями, що характерно для сучасних конструкцій верстатів-роботів [9, 10].

На сьогодення аналіз останніх досягнень і публікацій свідчить про незавершеність рівня досліджень на етапах передпроектних досліджень, та проведення імітаційно-експериментальних досліджень зразків до їх повного зносу.

Метою статті є розробка алгоритму розрахунків показників надійності системи робота-верстата, вихідний параметр якої представлений у вигляді випадкової послідовності, шляхом імітації роботи зразків кінематичної пари у реальних експлуатаційних умовах аж до їх повного зносу.

Викладення основного матеріалу

На стадії проектування показники безвідмовності й довговічності трактують як характеристики імовірнісних моделей створюваних об'єктів.

На стадіях експериментальних досліджень, випробувань та експлуатації ці показники визначають як статистичні оцінки відповідних імовірнісних характеристик. Середній наробіток до відмови – математичне очікування наробітку об'єкта до першої відмови, можна визначити як функцію

$$T_f = \int_0^\infty t f(t) dt = \int_0^\infty P(t)\, dt\,, \qquad (1)$$

де t – сумарний наробіток;

$P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи;

$f(t)$ – щільність розподілення напрацювання до відмови.

Середній наробіток на відмову – відношення сумарного наробітку відновлюваного об'єкта до математичного очікування числа його відмов протягом цього наробітку. Цей показник звичайно використовується для відновлюваних об'єктів, при експлуатації яких проявляються багаторазово повторювані, як правило, несуттєві відмови, що не приводять до серйозних наслідків. Відповідна розрахункова залежність має вигляд

$$T_{\text{ср}} = t \big/ M\left\{ r(t) \right\}, \qquad (2)$$

де $r(t)$ – число відмов, що настали протягом наробітку;

$M\left\{ r(t) \right\}$ – математичне очікування числа відмов протягом цього наробітку.

Коефіцієнт готовності характеризує готовність об'єкта до використання за призначенням у певний момент часу, крім запланованих періодів обслуговування, коли використання об'єкта за призначенням виключено. Цей показник є комплексним і кількісно об’єднує одночасно два важливих для технологічних систем показника – безвідмовність і ремонтопридатність:

$$K_{\text{Г}} = \frac{T(t_0)}{T(t_0) + T_{\text{В}}}\,,$$

де $T(t_0)$ – середнє напрацювання на відмову;

$T_{\text{В}}$ – середній час відновлення після відмови.

Статистична оцінка коефіцієнта готовності

$$\bar{K}_{\text{Г}} = \frac{\bar{T}(t_0)}{\bar{T}(t_0) + \bar{T}_{\text{В}}}\,. \qquad (3)$$

Безпосереднє застосування законів розподілу наробітку до відмови або законів розподілу терміну служби дозволяє вирішувати завдання визначення показників надійності лише приблизно за низкою причин [1]:

– по-перше, закон вибирається формально, за зовнішніми ознаками і часто не відображує процес формування відмови;

– по-друге, для одержання експериментальних даних, що дозволяють судити про закон розподілу, необхідні значний час і витрати.

Робота об'єкта, вихідний параметр якого має закон розподілу, що не залежить від часу, характеризується раптовими відмовами. У цьому випадку відповідно до експонентного закону надійності ймовірність безвідмовної роботи $P(T)=\exp(-\lambda t)$, де λ – інтенсивність відмов. Звичайно в цьому випадку параметри стану вважають випадковими величинами й безвідмовність може оцінюватися згідно незалежній від часу ймовірності знаходження вихідного параметра в допустимих границях $P_р$ (квазістатична постановка [1]).

Тоді при статичних границях

$$P_р = P\{R_1 < z < R_2\} = \int_{R_1}^{R_2} \varphi(z)dz, \qquad (4)$$

при випадковій границі

$$P_р = P\{\xi > 0\} = \int_0^{\infty} \psi(\xi)d\xi. \qquad (5)$$

Встановити зв'язок між характеристиками $P(T)$ і $P_р$ при раптових відмовах можна, якщо розглядати параметр стану z як випадкову послідовність, спостережувану у фіксованих точках тимчасового інтервалу. Отримано

$$P(T) = \exp\left[-\left(1 - P_р nT\right)\right], \qquad (6)$$

де n – середнє число фіксованих точок за одиницю часу.

У загальному випадку роботоздатність роботів-верстатів та якість їх функціонування визначається не одним, а сукупністю S вихідних параметрів стану $z_1, z_2 ... z_S$, які можна вважати компонентами деякого вектора **Z**. Простір станів можна розділити деякою граничною поверхнею на дві області: область роботоздатних станів і область відмов. Безвідмовність у цьому випадку визначається як імовірність того, що за час T функціонування системи параметри стану z_i не виходять за відповідні границі R_{i1} і R_{i2}:

$$P(T) = P\{\mathbf{Z} \in \Omega / t \le T\} = \\ = P\left\{\begin{matrix} R_{11} < z_1 < R_{12} < z_2 < R_{22} ... < \\ < R_{S1} < z_S < R_{S2} / t \le T \end{matrix}\right\}. \qquad (7)$$

Перетинання вектором **Z** у якийсь момент часу поверхні граничних станів означає відмову. Визначальними у характеристиці процесів, що призводять до відмови об'єкта, є швидкість їх протікання [2]. Процеси, що протікають із високою швидкістю (період зміни порядку долі секунди), закінчуються протягом циклу роботи машини й знову виникають при наступному циклі. Для оцінки усередненого параметра потоку відмов μ необхідно знати щільність спільного розподілу параметра стану $z(t)$ і швидкості його зміни в часі $\dot{z}(t)$. У багатьох випадках такі процеси описуються стаціонарною випадковою функцією з нормальним законом розподілу як самого параметра стану z, так і швидкості його зміни $\dot{z}$. Тоді відповідно до формули Райса усереднений параметр потоку відмов визначають так

$$\bar{\mu} = \frac{1}{2\pi}\frac{\sigma_{\dot{z}}}{\sigma_z}\exp\left[-\frac{(R - m_z)^2}{2\sigma_z^2}\right], \qquad (8)$$

де σ_z і $\sigma_{\dot{z}}$ – середньоквадратичні значення відповідно z і $\dot{z}$; R – границя.

Безвідмовність, як імовірність відсутності за час наробітку T першої параметричної відмови, визначать так

$$P(T) = \exp\left\{-\frac{T}{2\pi}\frac{\sigma_{\dot{z}}}{\sigma_z}\exp\left[-\frac{(R - m_z)^2}{2\sigma_z^2}\right]\right\}. \qquad (9)$$

Процеси, що протікають із середньою швидкістю, відбуваються під час безперервної роботи роботів-верстатів й виміряються хвилинами й годинами. Це, у першу чергу, стосується зміни умов навантаженості, температури тощо. Якщо розсіювання режимів навантаженості таке, що при несприятливій комбінації показників режимів параметр стану об'єкта може вийти за допустимі границі, то при функціонуванні можливі раптові відмови, імовірність появи яких повністю визначається ймовірністю несприятливої ситуації. Дослідження надійності в цьому випадку розпадається на три основні етапи:

– побудова на основі теоретичних або експериментальних досліджень залежності вихідного параметра від показників навантаженості;

– ретельний статистичний аналіз умов експлуатації, імовірнісний опис показників навантаженості;

– побудова розподілу вихідного параметра.

Розподіл вихідного параметра є достатнім, щоб за формулами (4), (5) і (6) визначити оцінки надійності $P_р$ і $R(T)$.

Процеси, що протікають із низькою швидкістю, мають місце у період роботи роботизованого обладнання між періодичними оглядами чи ремонтами. До них відносяться зношування, накопичення утомних пошкоджень, корозія тощо. Такі процеси викликають зміну статистичних характеристик параметра стану у часі, у зв'язку із чим його вже не можна розглядати як стаціонарну випадкову функція. Процеси такого типу звичайно призводять до поступових відмов. При цьому зношування, як основний чинник, може викликати граничні стани різного роду. При досягненні величини зносу деякого граничного значення можуть відбуватися різкі, стрибкоподібні зміни в результаті кінематичних взаємодій функціонування роботів-верстатів, що призводять до відмов. В інших випадках вихідний параметр механічної системи, що залежить від ступеня зносу кінематичних пар, не має екстремальних зон і монотонно погіршується в процесі експлуатації. При досягненні параметром стану значень, регламентованих технічною документацією, наступає параметрична відмова, найбільш проста модель якої базується на припущенні лінійної залежності вихідного параметра від величини зносу. На практиці нерідкі випадки, коли поступові відмови внаслідок зношування й раптові відмови, викликані в основному несприятливою комбінацією умов навантаженості, практично між собою не зв'язані. Імовірність безвідмовної роботи при спільній дії цих різних видів відмов

$$P(T) = P_{зн}(t)\cdot P_{р}(T), \qquad (10)$$

де $P_{зн}(t)$ і $P_{р}(T)$ – ймовірності безвідмовності, зумовлені відповідно зношуванням і раптовими відмовами.

Якщо можливо розчленувати складну систему на окремі елементи і для кожного з них окремо визначити ймовірність безвідмовної роботи, то для розрахунків показників надійності системи використовують структурні моделі (схеми). Найбільш характерний випадок, коли відмова кожного з елементів виводить із ладу всю систему – це послідовне з'єднання елементів. Приклад застосування – зубчасті колеса, вали, підшипники як елементи механічної трансмісії у складі роботів. Відмова кожного з таких елементів призводить до відмови усієї системи.

Імовірність безвідмовної роботи такої системи дорівнює добутку ймовірностей без відмов ної роботи елементів

$$P(T) = P_1(t)\cdot P_1(t)...P_n(t) = \prod_{i=1}^{n} P_i(t). \qquad (11)$$

Якщо вихід з ладу всіх означених елементів спричинений тільки раптовими відмовами, які підкоряються експонентному закону, тобто

$$\left.\begin{aligned} P_1(t) &= \exp(-\lambda_1 t); \\ P_2(t) &= \exp(-\lambda_2 t); \\ &\ldots \\ P_n(t) &= \exp(-\lambda_n t) \end{aligned}\right\}, \qquad (12)$$

то для такої системи ймовірність безвідмовної роботи визначають так

$$P(t) = \prod_{i=1}^{n} \exp(-\lambda_i t) = \exp\left(-\sum_{i=1}^{n} \lambda_i t\right). \qquad (13)$$

Таким чином, імовірність безвідмовної роботи складної системи, що складається з елементів, підвержених раптовим відмовам, також підкоряється експонентному закону з параметром $\lambda = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i$. Простота розрахунків показників надійності системи при раптових відмовах елементів за рівнянням (13) на практиці іноді призводить до того, що цією формулою користуються також і у випадках, коли причина виходу з ладу – поступові відмови. Це неприпустимо, оскільки у таких випадках є обов'язковим використання загальної формули (10).

Якщо у структурній моделі надійності об’єкту n_1 елементів не дубльовані, а n_2 елементів дубльовані, то ймовірність безвідмовної роботи такої системи

$$P(t) = P_d(t)\cdot P_c(t) = \left.\prod_{i=1}^{n_1} P_i(t)\cdot\prod_{i=1}^{n_2}\left[1-Q_j^2(t)\right]\right\}. \qquad (14)$$

Для можливості практичного застосування у розрахунках показників надійності на різних рівнях моделювання опрацьовано відповідну універсальну комп’ютерну модель, у якій основними відмовами є раптові, однак їх інтенсивність залежить від процесів, що повільно протікають, наприклад, від процесів зношування (рис. 2).

Розроблений алгоритм розрахунків показників надійності системи, вихідний параметр якої представлений у вигляді випадкової послідовності, імітує роботу N зразків кінематичної пари робота-верстата у реальних експлуатаційних умовах аж до їх повного зносу [2].

Для кожного зразка за методом Монте-Карло, відповідно до відомих розподілів технологічних параметрів, визначають початковий базовий розмір u_0 і критеріальний параметр a_0 (наприклад, твердість), що визначає середню швидкість зношування (оператор 3).

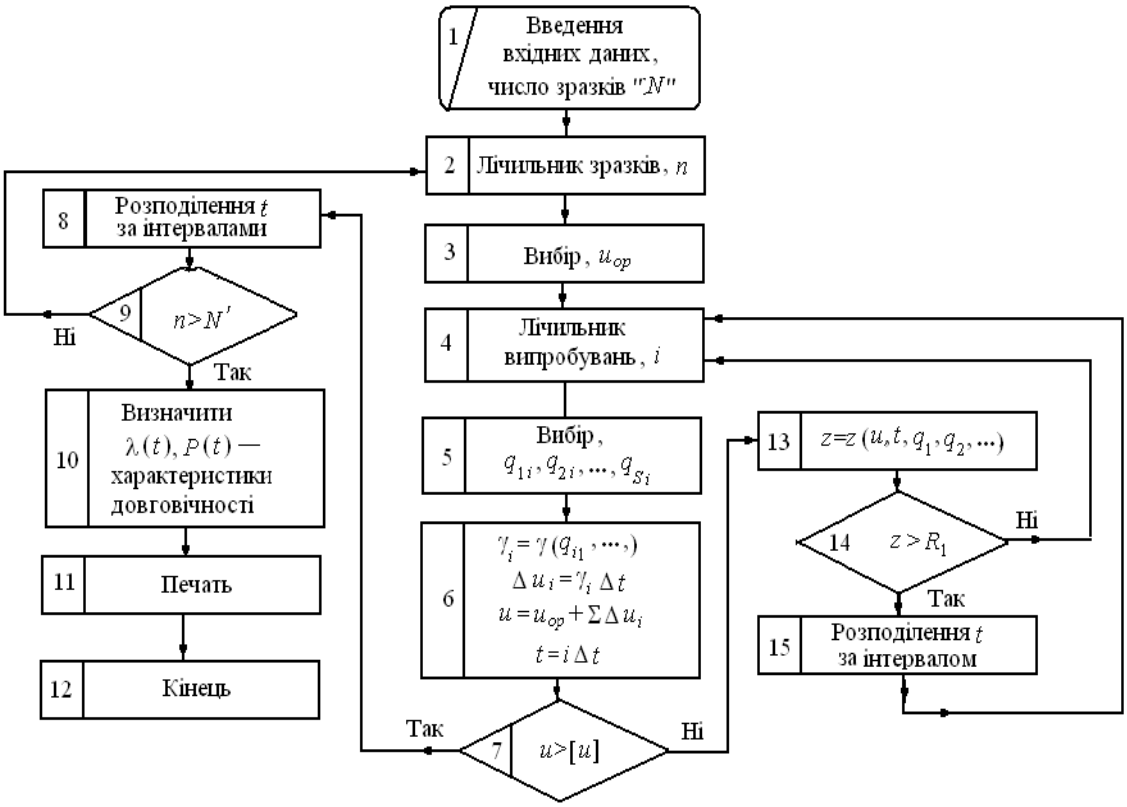


Рисунок 2 – Структурна схема алгоритму розрахунку надійності об'єкта при раптових відмовах з урахуванням зносу

Зразок піддають «випробуванням», для кожного з яких за методом Монте-Карло розігрують значення показників навантаженості $q_1, q_2, \dots, q_S$ (оператор 5), та за прийнятою математичною моделлю швидкості зношування $V_{зн}$ $(q_1, q_2, \dots, q_S)$ оцінюють (оператор 6) загальний знос u та час $t_к$ до кінця цього випробування. Обчисливши залежно від u, $t_к$ і характеристик навантаженості вихідний параметр об'єкта z (оператор 13), встановлюють (оператор 14) наявність раптової параметричної відмови. У випадку відмови до інтервалу, що відповідає часу його появи, додається одиниця (оператор 15). «Випробування» проводяться доти, поки знос зразка не перевищить допустимого значення (поступова відмова). Потім переходять до «випробувань» наступного зразка. Розподіл моментів параметричних відмов за часовими інтервалами дозволяє визначити для кожного інтервала інтенсивність відмов $\lambda(t)$ з наступною оцінкою ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ (оператор 10).

Після визначення характеристик довговічності виконується печать отриманих результатів і завершення роботи алгоритма.

Висновки

1. Запропонована модель раптових відмов у квазістатичній постановці як процес виходу випадкової послідовності параметрів за допустимі границі у просторі станів системи.

2. Опрацьовано алгоритм структурного аналізу надійності механізмів робота-верстата, який дає змогу проведення робіт ще на стадіях передпроектних досліджень та експериментальних випробувань.

3. Результати роботи можуть бути корисними при розроблені практичних рекомендацій щодо оптимального розподілу норм надійності між підсистемами роботів-верстатів ще на етапі проектування.

Список використаних джерел

1. Яглінський В. П., Гутиря С. С. Теория и практика моделирования технического уровня технологических машин / Коллективная монография. Моделирование технологических процессов механической обработки и сборки. Москва: Издат. дом "Спектр", 2014. С. 224-272.

2. Яглінський В. П., Гутиря С. С., Аймен Обайді, Параметрична надійність механізмів паралельної структури і кінематики типу гексапод / Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій, 3-я міжн. наук. техн. конф., м. Львів. 2012. С. 111-112.

3. E. Chiodo, D. Lauria. Stochastic index definition and estimation for reliability and quality assessment of transportation systems / *Systems for Aircraft Railway and Ship Propulsion (ESARS) 2012*, pp. 1-5.

4. Hutyria C., Yahlinskyi V., Chanchin A., Y Khomiak, V Popov. Evolution of trolleybus: directions, indicators, trends. *Diagnostika*. 2020, Vol. 21, No. 1. P. 11-26. DOI: https://doi.org/ 10. 29354/diag/116080.

5. Козерацький Г.В., Яглінський В.П., Хихловський А.Б., Озернюк О.Т. Кваліметрична модель технічного рівня тренажера-гексапода. *Вісник НТУ «ХПІ». Машинознавство та САПР*. Харків, 2018. № 25 (1301). С. 68-74.

6. Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV. Надежность машин / Редкол. В. В. Клюев и др. М.: Машиностроение, 2003. 592 с.

7. Coupe Charlottea, Le Maitre Hélène. Empirical illustration of issues in valuing reliability benefits of transport projects. *Transportation Research Procedia* 26 (2017). P. 166-176. French, Ministry of Environment, Energy and the Sea.

8. I., Kabashkin, I., Yatskiv, O., Prentkovskis. Reliability and Statistics in Transportation and Communication, RelStat'17. Riga, Latvia: Selected Papers from the 17th International Conference, 2017. P. 18-21.

9. Gutyrya, S., Yaglinsky, V., Chanchin, A. Parametrical Fluctuations of Epicycle in Wheel Gearboxes. *British Journal of Applied Science & Technology*. 13(2). 2016. P. 1-8.

10. Oborskyj, G. O., Hutyria, S. S., Yaglinskij, V. P., Chanchin, A. M. Technical evolution and reliability of trolleybus's traction transmission / *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser.: Engineering and CAD : зб. наук. пр. Харків: НТУ "ХПІ"*, 2018. № 25 (1301). С. 117-126.

References

1. Yaglinskyj V.P., Gutyrya S.S. Teoriya i praktyka modelirovaniya technicheskogo urovniya texnolo-gicheskix mashin / Kollektivnaya monografiya. Modelirovanie texnologicheskix proczesov mechanicheskoj obrabotky i sborky. Moskva: Izdat. dom "Spektr", 2014. S. 224-272.

2. Yaglinskyj V.P., Gutyrya S.S., Aimen Obaidi, Parametrychna nadijnist mexanizmiv paralelnoi struktury I kinematyky typu geksapod / Teoriya ta praktyka raczionalnogo proektuvaniya, vygotovleniya i ekspluatacziyi mashynobudivnyx konstrukczij, 3-ya mizhnar. nauk. texn. конf, m. Lviv. 2012. S. 111-112.

3. E. Chiodo, D. Lauria. Stochastic index definition and estimation for reliability and quality assessment of transportation systems / *Systems for Aircraft Railway and Ship Propulsion (ESARS) 2012*, pp. 1-5.

4. C. Hutyria, V Yahlinskyj, A Chanchin, Y Khomiak, V Popov. Evolution of trolley-bus: directions, indicators, trends. *Diagnostika.* 2020, Vol. 21, No. 1. P. 11-26. DOI: https://doi.org/10. 29354/diag/116080.

5. Kozeraczkyj G. V., Yahlinskyj V. P., Xixlovskyj A. B., Ozerniuk O. T. Kvalimetrychna model texnichnogo rivniya trenazhera-heksapoda. *Visnyk NTU «XPI». Mashynoznavsyvo ta SAPR.* Xarkiv, 2018. # 25 (1301). S. 68-74.

6. Mashinostroenie. Encziklopediya. T. IV. Nadezhnost mashin / Redkol. V. V. Kluev i dr. M.: Mashinostroenie, 2003. 592 s.

7. Coupe Charlottea, Le Maitre Hélène. Empirical illustration of issues in valuing reliability benefits of transport projects. *Transportation Research Procedia* 26 (2017). P. 166-176. French, Ministry of Environment, Energy and the Sea.

8. I., Kabashkin, I., Yatskiv, O., Prentkovskis. Reliability and Statistics in Transportation and Communication, RelStat'17. Riga, Latvia: Selected Papers from the 17th International Conference, 2017. P. 18-21.

9. Gutyrya, S., Yaglinsky, V., Chanchin, A. Parametrical Fluctuations of Epicycle in Wheel Gearboxes. *British Journal of Applied Science & Technology*. 13(2). 2016. P. 1-8.

10. Oborskyj, G. O., Hutyria, S. S., Yaglinskij, V. P., Chanchin, A. M. Technical evolution and reliability of trolleybus's traction transmission / *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser.: Engineering and CAD : zb. паик. pr.* Xarkiv: NTU "XPI", 2018. № 25 (1301). S. 117-126.

Надійшла до редакції 11.11.2022