

### ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПНЕВМОДВИГУНІВ НА ТРАНСПОРТІ З РЕКУПЕРАЦІЄЮ ЕНЕРГІЇ

**М. М. Яцина**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: JNN19844@gmail.com

Розглянуто тенденції розвитку застосування гібридних транспортних засобів, зокрема з рекуперацією енергії в режимі гальмування при використанні пневмодвигуна у якості додаткового силового агрегату. Встановлено, що для роботи пневмодвигунів на транспортних засобах необхідно враховувати різні фактори впливу на надійність у зв'язку з умовами експлуатації даного агрегата. На основі цього проаналізовано опрацювання статистичної інформації стосовно порушення нормальної роботи пневмодвигуна та виникнення параметричної або власної відмови дозволило побудувати діаграму частоти виникнення браку внаслідок відмов елементів конструкції пневмодвигуна в умовах реальних режимів руху гібридного транспортного засобу з застосуванням рекуперативного гальмування. Таким чином, зношування окремих елементів, що безпосередньо впливають на енергоефективність, і для збереження надійності роботи пневмодвигуна нехтують їх залишковим ресурсом, призводять до передчасної заміни, що значно здорожує його експлуатацію, оскільки такі елементи є дорогими та потребують високої кваліфікації працівників для їх заміни.

**Ключові слова:** гібридний транспортний засіб, рекуперація енергії, пневмодвигун, надійність, параметричні відмови, стабільність, гістограма, відмова.

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПНЕВМОДВИГАТЕЛЕЙ НА ТРАНСПОРТЕ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ

**Н. Н. Яцына**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: JNN19844@gmail.com

Рассмотрены тенденции развития использования гибридных транспортных средств, в частности с рекуперацией энергии в режиме торможения при применении пневмодвигателя в качестве дополнительного силового агрегата. Установлено, что для работы пневмодвигателя на транспортных средствах необходимо учитывать различные факторы влияния на надежность в связи с условиями эксплуатации данного агрегата. На основе этого проанализированы обработки статистической информации о нарушении нормальной работы пневмодвигателя и возникновения параметрического или собственного отказа позволило построить диаграмму частоты возникновения брака вследствие отказов элементов конструкции пневмодвигателя в условиях реальных режимов движения гибридного транспортного средства с применением рекуперационного торможения. Таким образом, износ отдельных элементов, которые непосредственно влияют на энергоэффективность, и для сохранения надежности работы пневмодвигателя пренебрегают их остаточным ресурсом, приводят к преждевременной замене, что значительно удорожает его эксплуатацию, поскольку такие элементы являются дорогостоящими и требуют высокой квалификации работников для их замены.

**Ключевые слова:** гибридное транспортное средство, рекуперация энергии, пневмодвигатель, надежность, параметрический отказ, стабильность, гистограмма, отказ.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** З розвитком ринку гібридних автомобілів система рекуперації часто використовується для збільшення дальнього пробігу автомобіля на електричному, або пневматичному заряді. Найбільш розповсюдженими автомобілями цих класів є Toyota Prius, Chevrolet Volt, Honda Insight, Tesla Model S.

У сучасних гібридних автомобілях використовується система рекуперативного гальмування. В основу системи покладено спосіб рекуперації кінетичної енергії.

При гальмуванні з використанням традиційної гальмівної системи надлишок кінетичної енергії перетворюється в теплову енергію тертя гальмівних колодок і гальмівного диска і, відповідно, витрачається вхолосту.

У системі рекуперативного гальмування для затримки використовується додаткового силового агрегату, включений у трансмісію автомобіля. При гальмуванні пневмодвигун починає працювати в режимі компресора, на валу двигуна створюється гальмівна точка і виробляється пневматична енергія,

яка зберігається в балоні-акумуляторі. Накопичена енергія використовується в подальшому для руху автомобіля.

Використання системи рекуперативного гальмування забезпечує максимальну віддачу від кожного заряду балона та високу енергетичну економічність. Рекуперативне гальмування найбільш ефективно на передній осі автомобіля. Ефективність системи рекуперативного гальмування значно знижується на низьких швидкості руху автомобіля. Тому для доведення автомобіля до повної зупинки використовуються традиційні фрикційні гальмо. Спільна робота двох систем знаходиться під управлінням електроніки.

Окремий електронний блок управління виконує слідуючі функції:

- контроль швидкості руху коліс;
- підтримка тормозного моменту пневмодвигуна, необхідного для затримки автомобіля;
- перерозподіл тормозного зусилля на фрикційну гальмівну систему;

• підтримка крутного моменту, необхідного для зарядки балона-акумулятора.

У цій гальмівній системі відсутня механічна зв'язок між педаллю гальм і гальмівними колодками. Рішення про гальмування приймає електроніку на підставі аналізу дії водія та характеру руху автомобіля.

Окрім електричного способу рекуперації кінетичної енергії існують і інші способи: механічний, гідравлічний, пневматичний. Самий розповсюдженою з них є механічний спосіб і побудована на його основі система рекуперації кінетичної енергії (KineticEnergyRecoverySystems, KERS - СКРЕ). В цій системі кінетична енергія рухомого автомобіля повертається при гальмуванні і зберігається для подальшого використання за допомогою маховика. В відмінності від рекуперативного гальмування система СКРЕ не створює гальмівного моменту.

Маховик включений в трансмісія автомобіля, обертається у вакуумній камері і при гальмуванні розганяється до 60000 об/хв. Конструкція забезпечує збереження енергії до 600 кДж і передачу потужності до 60 кВт (80 л.с.). Запасена енергія використовується для короточасного швидкого виклику в русі або при русі зі свого місця.

При гальмуванні двигун автомобіля вимикається, маховик розкручується і зберігає енергію. При прийомі з місця використовується енергія маховика, автомобіль рухається, а двигун запускається вже в русі [1, 2].

Застосування системи рекуперації кінетичної енергії забезпечує зниження витрати палива на 20% і скорочення шкідливих викидів.

Однак, рекуперативне гальмування при використанні пневмодвигуна може бути розглянуте як енергоефективне тільки у разі високої параметричної та функціональної надійності силового агрегату.

Мета роботи – дослідження частоти виникнення відмов роботи при зношуванні деталей пневмодвигунів різної модифікації для забезпечення надійності вихідних параметрів та підвищення ефективності пневмодвигунів на транспорті з рекуперацією енергії.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Попередні дослідження довели, що близько 30 % часу двигун працює на холостих обертах, це відбувається через часті зупинок біля світлофорів, знаків, пробок та інших місць, які потребують зупинки ТЗ. Саме в цих випадках система «Старт Стоп» виявляється дуже ефективною, вона автоматично глушить мотор, коли автомобіль зупиняється і також автоматично заводить його в разі натискання на газ.

Оскільки автомобіль в основному рухається в режимі прискорення, а гальмування становить лише малу, незначну частину від загального часу (рис. 1). Це робить рекуперацію енергії при гальмуванні недостатньо ефективною, через те, що зарядка балонів буває неефективною, при цьому конструктивно пневмообладнання виглядає набагато складніше.

Тому система рекуперативного гальмування при високій надійності елементів даної системи та тривалій безвідмовної роботи пневмообладнання, що переважно відображається у герметичності робочих

камер пневмодвигуна, вдається досягти близько 30 % економії енергії.

Враховуючи особливості використання гібридних транспортних засобів, необхідно зазначити, що проблему екологічності їх використання не вирішує. Тому, впровадження пневмодвигуна, як додаткового силового агрегату в сукупності з ДВЗ, дає можливість зниження впливу на навколишнє середовище не знижуючи ефективності роботи даного транспортного засобу.

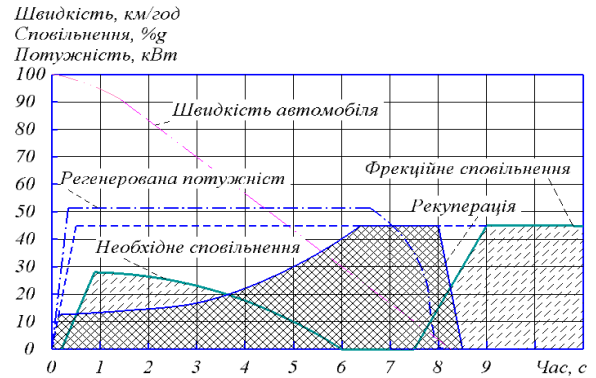


Рисунок 1 – Графік розподілу затраченої енергії транспортного засобу з рекуперативним гальмуванням при різних режимах руху транспортного засобу

Дослідженням пневмодвигунів займалися значна кількість дослідників: Герц Е.В., Зенченко В.П., Крейнин Г.В., Гогричані Г.В., Губарев О.П., Солнцев К.С., Зибалов В.С., Кожевников С.Н., Діп'єстро А., які у своїх працях вивчали високу ефективність використання пневмодвигунів, зокрема роторного типу, у всіх сферах людського життя та встановили особливості роботи пневмодвигунів у різних умовах експлуатації [1, 4].

Основним показником ефективного використання пневмодвигуна на транспортному засобі є його енергоефективність. Під енергоефективністю розуміють раціональне використання енергетичних ресурсів, за допомогою якого зменшується їх використання при однаковій використаній потужності.

При вивченні роботи пневмодвигуна, можна зауважити, що на енергоефективність має вплив ряд факторів, зокрема геометричні параметри робочої камери, показники її герметичності та зміна герметичності робочої камери в процесі зношування її складових, що характеризується законом відмов та надійності функціонування.

У теорії надійності застосовуються різні закони розподілу термінів служби (напрацювання) повністю. Отже,  $t=T$  – термін служби (напрацювання) повністю — випадкова безперервна, позитивна величина [1, 4, 5]. Підставою для використання того або іншого закону розподілу і оцінки його параметрів служать статистичні дані, одержані при випробуванні виробів або зразків, відомості про аналоги, експлуатаційні спостереження або теоретичні передумови.

Закон розподілу часу роботи виробу повністю виражений в диференціальній формі у вигляді щільності вірогідності  $f(t)$  або в інтегральній формі у вигляді функції розподілу  $F(t)$ , є повною характеристикою надійності виробу або його елементу. Він дозволяє визначити вірогідність безвідмовної роботи  $P(t)=1-F(t)$ , математичне очікування (середній термін служби або середнє напрацювання до відказу) та інші чисельні характеристики - моменти вищих порядків, квантилі.

Виявлення закону розподілу необхідне для прогнозування поведінки виробу або відтворюваності технології з огляду оцінки вірогідності виникнення відмови.

З урахуванням зауважень [6, 7] закон відмов обирають не тільки за ступенем подібності емпіричних даних теоретичному розподілу, а і з урахуванням особливостей настання граничних станів системи, які призводять до відмов.

Для роботи пневмодвигунів на транспортних засобах та пневмоінструменті необхідно враховувати різні фактори впливу на надійність у зв'язку з умовами експлуатації даного агрегату. Функцію надійності пневмодвигуна можна зобразити у вигляді схеми.

Тому, робота пневмодвигуна на мобільному транспортному засобі розглядається як наслідок значної кількості процесів, що носять, у тому числі, і ймовірнісний характер, пошук адекватного математичного опису зміни контрольованих параметрів і визначення на їх основі ймовірності виникнення відмов є актуальною науково-практичною задачею, розв'язання якої дозволить запропонувати нові технічні рішення з підвищення надійності пневмодвигуна, та збільшити його поле застосування. В пневмодвигунах роторного типу існує група деталей, що підлягають можливості дострокового виходу з ладу (рис. 2). Тому, для подальшого розгляду підвищення надійності за допомогою конструктивних елементів слід розглядати саме їх.

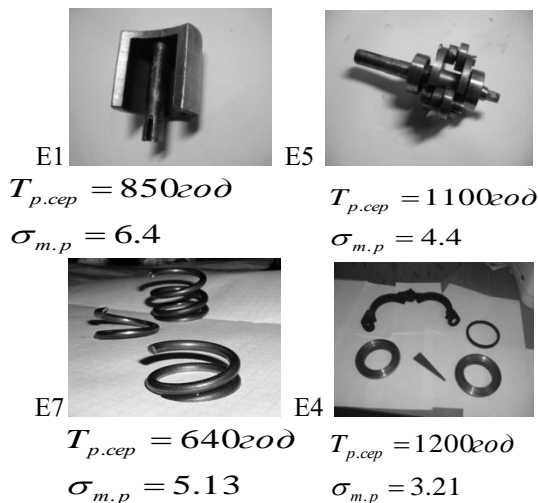


Рисунок 2 – Деталі, що мають найбільший рівень дострокового виходу з ладу

Попереднє опрацювання статистичної інформації стосовно порушення нормальної роботи пневмодви-

гуна та виникнення параметричної або власної відмови дозволило побудувати діаграму частоти виникнення браку внаслідок відмов елементів конструкції пневмодвигуна в умовах діючого виробництва.

Стає очевидним, що конструктивні особливості пневмодвигуна, а саме тип прижимного елемента, дають різну картину відмов при однакових умовах експлуатації транспортного засобу. Також крім безпосередніх відмов, для пневмодвигунів транспортного засобу важливим показником є зниження потужності, що пов'язана зі зношуванням деталей основного контактного спряження, що впливають як на надійність так і на стабільність роботи.

При експлуатації пневмодвигунів існують два типи відмов – параметричні (П) та функціональні (Ф). Таким чином, з рис. 3 видно, що зношування більшості деталей пневмодвигуна першочергово призводять до параметричних відмов. Саме тому дослідження закономірностей виникнення відмов пневморухія, визначення тенденції змін показників основних робочих характеристик дозволить визначити дієві заходи щодо пошуку шляхів підвищення енергоефективності пневмодвигунів з обмеженим запасом стиснутого повітря та підвищення надійності роботи, що являється основною вимогою при експлуатації такого транспортного засобу в особливих небезпечних умовах роботи.

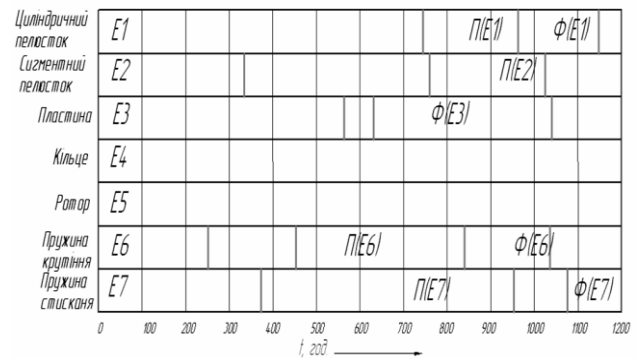


Рисунок 3 – Діаграма частоти виникнення відмов роботи при зношуванні деталей пневмодвигунів різної модифікації

На основі викладеного було визначено, що, враховуючи умови експлуатації та режими роботи транспортних засобів з автономним джерелом живлення, пневмодвигуни роторного типу мають термін безвідмовної роботи більше за зазначений термін експлуатації  $T_e < T_{бр}$ .

Ідентифікація моделей працездатності пропонованого приводу для роботи на мобільному транспортному засобі. Як і будь-яка складна технічна система, пневмодвигун при функціонуванні має певний ансамбль робочих процесів, визначеного для подібних проміжків часу (рис. 4) і обумовлених явищами системного та випадкового характеру. Системні явища мають квазісталий, довготривалий характер, і можуть бути описані функціональними закономірностями, виявленими на основі статистичних спостережень за процесом або на основі теоретичного аналізу перетворень, що протікають при його реалі-

зації. Явища випадкового характеру характеризуються тим, що їхній прояв завжди супроводжується певною невизначеністю, і про наслідки таких явищ можна говорити лише виключно як про ймовірність отримання того чи іншого показника системи, і, як наслідок, конкретного вихідного показника. Прикладом прояву системних явищ є зношування елементів основного спряження.

Зазвичай випадкові та системні явища проявляються одночасно. Їх врахування вимагає опису пошукового параметру не як певної константи, елементу матриці або детермінованої функції, а як математичного очікування прояву випадкової величини у визначених межах. Так, кожна реалізація процесу  $x_1(t), x_2(t), \dots, x_i(t)$ , рис. 4, є функцією часу. Відомо [1, 8], що у разі, коли існує дві межі, описуваних кривими  $A$  і  $B$ , утворена смуга буде областю реалізації випадкового процесу взагалі.

При незмінності ширини полос (і, відповідно, її межі  $A(t)$  та  $B(t)$ ) в проміжку часу  $(t_0, t_1)$ , випадковий процес є стаціонарним, і його статичні характеристики не залежать від часу. В протилежному випадку (проміжок часу  $(t_1, t_2)$ ) ширина і межі полоси змінюються. Випадковий процес даного виду є нестационарним, його характеристики залежать від часу.

Оскільки множина реалізацій випадкового процесу  $x(t)$  для фіксованого моменту часу  $t$ , який визначає деякий переріз, відповідає випадковій величині, зображеній точками (рис. 4), при значному числі  $N$  реалізацій випадкового процесу одержують множину випадкових чисел, які утворюють вибірку, що характеризує процес в момент часу  $t$  [8]. Дана вибірка, подана в графічному вигляді, являє собою сукупність точок на числовій осі  $x$  (рис. 5).

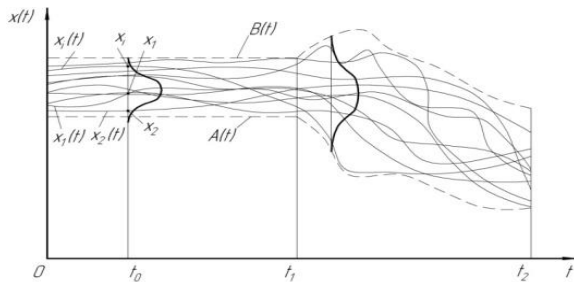


Рисунок 4 – Ансамбль реалізацій деякого випадкового процесу, визначений в один і той же проміжок часу

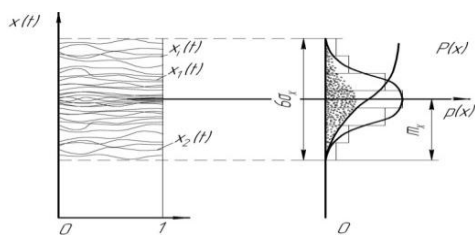


Рисунок 5 – Графічна інтерпретація випадкових значень процесу  $x(t)$  в перерізі  $t$

Для цієї випадкової величини середнє математичне значення визначиться рівнянням:

$$m_x(t) \cong \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i(t) \quad (1)$$

а дисперсія даної випадкової величини становитиме:

$$\sigma_x^2(t) \cong \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [x_i(t) - m_x(t)]^2 \quad (2)$$

У разі, коли на процес впливає значна кількість факторів, однак вплив кожного не є привалуючим, розподіл реалізацій випадкового процесу підкоряється закону Гауса. Як приклад, на рис. 5 наведена гістограма вибірки, що відповідає числу точок, які попали у відповідний інтервал. Ця гістограма наближено описує щільність розподілу ймовірності  $p(x)$  випадкового процесу в перерізі. Коли щільність ймовірності відповідає кривій Гауса, то маємо гаусовський випадковий процес, ширина якого складає  $\sim 6\sigma_x$ . Функція розподілу ймовірності  $P(x)$  дорівнює ймовірності того, що випадковий процес має значення, менші за  $x$ . Ймовірність того, що випадковий процес  $x^*(t)$  в перерізі потрапить в проміжок між  $x_1$  та  $x_2$  визначиться різницею функцій розподілу, тобто:

$$P(x_1 \leq x^*(t) < x_2) = P(x_2) - P(x_1) \quad (3)$$

Відповідно до [6-10] математичне очікування випадкового процесу в перерізі для відомої щільності ймовірності при безкінечній кількості реалізацій визначається залежністю:

$$m_x(t) = M[x(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} xp(x)dx \quad (4)$$

Зазвичай у технічних системах є елементи або підсистеми (ланки), надійність функціонування яких безпосередньо визначає надійність реалізації заданого процесу в цілому.

У пневмодвигунів, з огляду на [1, 3, 10], такою ланкою є головне спряження. Прижимна система пелюстка, яка є інструментом і для геометричних та енергетичних параметрів від яких залежить безвідмовна робота, та продуктивність, можна вважати, певною мірою, невизначеною, оскільки ряд явищ в робочій камері.

Зазначені явища носять стохастичний характер, тобто мова може йти про найбільш ймовірні протікання процесів зношування, ймовірні робочі характеристики пневмодвигуна та, відповідно, ймовірні показники режимів руху.

Пневматична система досить складна та має розгалужену структуру. Зношування окремих елементів, що безпосередньо впливають на енергоефективність, і для збереження надійності роботи пневмодвигуна нехтують їх залишковим ресурсом, проводять передчасну заміну, що значно здорожує його експлуатацію, оскільки такі елементи є дорогими. Інші негативні явища вимагають пошуку нових конструктивних рішень. Отже, вплив основних складових робочої камери на продуктивність, потужність і енергоефективності відповідатиме.

З поданої ілюстрації видно, що зношувальні явища в робочій камері, які не мають чіткого детермінованого характеру, викликають появу параметричних відмов, яка проявляється у зменшенні понад критичний рівень витрат повітря  $Q$ , потужність  $N$ , при чому час настання відмови є математичним сподіванням прояву цієї події з певним рівнем ймовірності. Іншим чинником, який, окрім параметричної, може викликати раптову власну відмову, є руйнування притискних пружин, що призводить до раптової зупинки пневмодвигуна. Власну відмову викликають і раптові процеси пошкодження системи живлення.

Початкові просторові відхилення та похибки складання елементів пневмодвигуна не залишаються постійними, а змінюються внаслідок прояву процесів зношування, і, відповідно, змінюють форми зовнішньо-швидкісної характеристики. Тільки за умови абсолютної точності розмірів та просторових положень окремих поверхонь можливе отримання високої енергоєфективності, що є важливим при використанні пневмодвигуна на мобільному транспорті з автономним джерелом живлення. Звичайно, неточності виготовлення, похибки складання елементів пневмодвигуна не можуть викликати настання відмови, однак розсіювання початкових відхилень викликає суттєве зростання меж ймовірних значень лімітуючих параметрів пристрою, який, власне, і визначає його працездатність.

При побудові емпіричної цілосності розподілу виконували статистичні спостереження за роботою 60 пневмодвигунів, встановлених на внутрішньо-заводському транспорті. Досліди виконували у такій послідовності. Спостерігали момент часу, коли зменшується герметичність робочої камери при зношуванні елементів основного sprzęження. В цей момент фіксували настання параметричної відмови. Пневмодвигуни, які виходили з ладу раніше, із загальної вибірки виокремлювали, і долучали їх до вибірки оцінки випадкових функціональних відмов.

На основі апріорної інформації [3] та за результатами побудови гистограми розподілу емпіричних даних було зроблене припущення про підкорення статистичної вибірки закону Вейбула-Гнеденко [9]. При цьому ймовірний час безвідмовної роботи встановили  $T = 220$  год.

Функція щільності закону Вейбула-Гнеденко має вигляд

$$\varphi(x) = \beta \cdot \lambda \cdot x^{\beta-1} \cdot e^{-\lambda \cdot x^\beta} \quad (5)$$

або

$$f(x) = \left(\frac{K_\beta}{\bar{t}}\right)^\beta \cdot \beta \cdot t^{\beta-1} \cdot e^{\left(-\frac{K_\beta \cdot t_i}{\bar{t}}\right)^\beta}, \quad (6)$$

де  $\beta$  і  $\lambda$  – параметри цього закону розподілу.

Знаходимо величину вибіркового коефіцієнта варіації  $v_t$ ; за розрахованими раніше вибілковими значеннями  $\bar{t}$  й  $S_t$ :

$$v_t = \frac{S_t}{\bar{t}} = 182,647. \quad (7)$$

Для отриманого значення коефіцієнта варіації  $v_t = 0,64$  та коефіцієнтів  $\beta = 1,1$ .

Теоретичні значення частоти  $f'_i$ , влучення значень випадкової величини в  $i$ -й інтервал групування встановлені за рівнянням

$$n'_i = f(t_i) \cdot h \cdot \sum n_i, \quad (8)$$

де  $h$  – значення величини інтервалу групування, яке в нашому випадку становить 104 год.

Параметр  $\lambda_c$  визначено так:

$$\lambda_c = \frac{1}{\bar{t}} = 0,003. \quad (9)$$

Перевірку адекватності емпіричної щільності теоретичною кривою Вейбула-Гнеденко виконано за допомогою  $\chi^2$  – критерія Пірсона.

Тоді загальна схема формування відмови буде відповідати рис. 6.

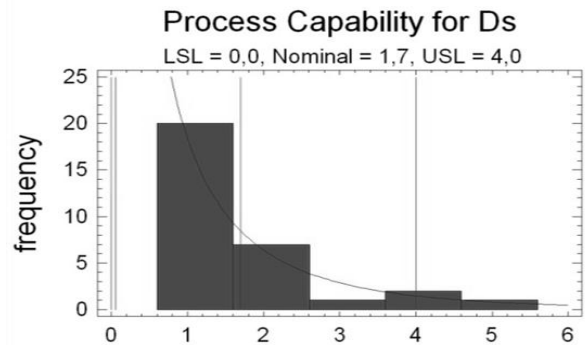


Рисунок 6 – Гістограма розподілу випадкової величини – періоду нормальної роботи пневмодвигуна та теоретична крива Вейбула-Гнеденко

Таким чином, настання параметричної відмови пневмодвигуна відбувається протягом часу  $T = 220$  год, при прогнозованому періоді стійкості  $T_c = 190$  год., розподіл якого як випадкової величини задовільно описується законом Вейбула-Гнеденко з параметрами.

**ВИСНОВКИ.** Враховуючи головну концепцію творення гібридних транспортних засобів, необхідно зауважити, що найвища ефективність використання двох незалежних силових установок досягається лише в результаті своєчасного введення в дію однієї із них. Своєчасність увімкнення силової установки з тим чи іншим джерелом енергії встановлюється в результаті визначення умов експлуатації, режимів руху та призначення транспортного засобу в цілому. Тому і вибір безпосередньо допоміжної силової установки базується на встановленні зазначених показників. Оскільки електродвигун не може забезпечити нормальну роботу гібридного транспортного засобу в складних умовах, то наразі все більше використовується гібридні авто типу ДВЗ-пневмодвигун.

На відміну від електродвигунів, рекуперация енергії стиснутого повітря в пневмодвигунах в процесі гальмування майже не розглядалася, оскільки такий вид транспорту тільки почав використовуватись на міжміському сполученні, що в свою чергу, спонукає до проведення досліджень по енергоефективності роботи транспортного засобу з використанням пневмодвигуна в умовах збільшення часу між заправками балонів, враховуючи незмінність швидкісних та експлуатаційних характеристик, що в свою чергу обумовлене формування власних або параметричних відмов роботи пневмодвигуна є наслідок ряду випадкових та повільноплинних процесів, які пов'язані із умовами експлуатації транспортного засобу і які безпосередньо визначають вихідні показники зовнішньошвидкісної характеристики, які, в свою чергу, безпосередньо залежать від герметичності робочих камер пневмодвигуна.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Струтинський В. Б., Гуржій А. А. Експериментальне визначення динамічних характеристик та побудова на їх основі математичної моделі просторової системи приводів. *Науковий журнал "Технологічні комплекси"*. 2013. №1(7). С. 10–18.
2. Яцина М. М. Підвищення енергоефективності пневматичного двигуна на основі геометричних параметрів елементів робочої камери. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2013. Вип. 5/(82). С. 93–97.
3. Саленко О. Ф., Яцина М. М. О возможности использования приводов на мобильных транспортных средствах с автономным источником *International Scientific*. 2012. Gabrovo International Conference. С. 313–317.
4. Герц Е. В. Динамический расчет дискретных пневматических приводов. Москва: Машиностроение, 1983. – С.17–33.
5. Иванов М. І., Переяславський О. М., Шаргородський С. А., Моторна О. О. Сучасні тенденції розвитку систем гідрооб'ємного рульового керування. *Промислова гідроліка і пневматика*. 2011. № 4 (34) – С. 93–97.
6. Иванов М. І., Подолянин І. М., Гулько А. С. Застосування гідропривода поперечних коливань доочисників гичкозбиральної машини. Кіровоград: *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин КНТУ*. – 2011. № 11. С. 62–66.
7. Струтинський В. Б., Покінтелиця М. І. Проектування функціональних елементів технологічних комплексів. *Технологічні комплекси*. 2012. № 1,2. С. 161–168.
8. Яцина М. М., Литвиненко Б.Я. Пневмодвигун із кільцевим ротором у механотронних системах. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського*. 2008. Вип. 2/(49), част. 1. – С. 68–72.
9. Солтус А. П. Теория эксплуатационных свойств автомобиля. Київ: Машиностроение, 2004. 240 с.
10. Richer E. A. High Performance Pneumatic Force Actuator System. *ASME Journal of Dynamic Systems Measurement and Control*, 2000, pp. 416–425.

### PROVIDING THE RELIABILITY FUNCTIONING AND ENHANCING THE EFFICIENCY OF PNEUMATIC ENGINES ON VEHICLES WITH ENERGY RECUPERATION

M. Yatsyna

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University  
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: JNN19844@gmail.com

**Purpose.** To find out an adequate mathematical description of changes in controlled parameters and determine on their basis the probability of occurrence of failures which is an actual scientific and practical problem, the solution of which will allow to propose new technical solutions to improve the reliability of the pneumatic engine while working on hybrid vehicles using recuperative inhibition. **Methodology.** We have given the peculiarities of the use of hybrid vehicles, it should be noted that the problem of environmental friendliness of their usage does not solve. Therefore, the introduction of a pneumatic engine as an additional power unit in conjunction with the ICE, makes it possible to reduce the impact on the environment without reducing the efficiency of the vehicle. The main indicator of efficient use of a pneumatic engine on a vehicle is its energy efficiency. Energy efficiency is understood as the rational use of energy resources, which reduces their use at the same utilized capacity. **Originality.** For the first time, we have carried out the research of reliance of constructive elements of pneumodrive which works as additional power unit in recuperation system in the process of brake. **Results.** There has been explained the formation of own or parametric failures of the pneumatic engine which is a consequence of a number of random and slow-moving processes that are related to the conditions of operation of the vehicle and which directly determine the initial values of the external speed characteristic, which in turn is explained by the results of random sampling of the elements of the pleura of the motor for determining the time of the faultless work. **Practical value.** We have created the conception of work of pneumatic engine on a mobile vehicle which is considered as a consequence of a significant number of processes carried out, including the search for an adequate mathematical description of the change of controlled parameters and the determination of their basis of probability of failure as an actual scientific and practical problem, the solution of which will allow us to offer new technical solutions for improving the reliability of the pneumatic engine and to increase its field of application.

**Key words:** hybrid vehicle, energy reuperation, pneumatic engine, reliability, parametric failure, stability, histogram, failure.

## REFERENCES

1. Strutinsky, V. B., Gurzhii, A. A. (2013), "Experimental-mental determination of dynamic characteristics and construction on the basis of their mathematical model of spatial drive system", *Scientific journal "Technological complexes"*, No. 1 (7), pp. 10-18.
2. Yatsina, M. M. (2013), "Improvement of energy efficiency of a pneumatic engine on the basis of geometrical parameters of working chamber elements", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, Issue 5/2013 (82), pp. 93-97.
3. Salenko, O. F., Yatsina, M. M. (2012), "On the possibility of using drives on mobile vehicles with autonomous source International Scientific", *Gabrovo International Conference*, pp. 313-317.
4. Hertz, E. V. (1973), "Dynamic calculation of discrete pneumatic actuators", Moscow: Mechanical Engineering, pp. 17-33.
5. Ivanov, M. I., Pereyaslavsky, O. M., Sharrogorodsky, S. A., Motornaya, O. O. (2011), "Modern tendencies of development of systems of hydro-level steering control", *Industrial hydraulics and pneumatics*, №4 (34), pp. 93-97.
6. Ivanov, M. I., Podolyanin, I. M., Gunko, A. S. (2011), "Application of the hydraulic drive of transverse oscillations of the purifiers of the jig-cutting machine", *Kirovograd: Construction, production and operation of agricultural machines of KNTU*, iss. №11, pp. 62-66.
7. Strutinsky, V. B., Pokitelitelya, M. I. (2012), "Designing of functional elements of technological complexes", *Technological complexes*, №1, 2, pp.161-168.
8. Yatsina, M. M., Litvinenko, B. Y. (2008), "Pneumoengine with a circular rotor in mechatron systems", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, 2/2008 (49), pp. 68-72.
9. Soltus, A. P. (2004), "The theory of operational properties of a car", Kyiv: Mechanical Engineering.
10. Richer, E. A. (2000), "High Performance Pneumatic Force Actuator System", *ASME Journal of Dynamic Systems Measurement and Control*, pp. 416-425.

Стаття надійшла 20.05.2018.