

Ю.Я. Водянніков*

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»
вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна
Телефон: +380 536(6) 60324, E-mail: vodyann@i.ua
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6111-7128>

Д.В. Федосов-Ніконов

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»
вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна
Телефон: +380 536(6) 61384, +380 68 0291614, E-mail: dima.nikonov@outlook.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0781-8182>

А.М. Стринжа

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»
вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна
Телефон: +380 536(6) 61384, E-mail: lab4.ukrniiv@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3743-7006>

В.М. Полулях

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»
вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна
Телефон: +380 536(6) 61384, E-mail: lab4.ukrniiv@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2259-7157>

**АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ
ОДИНИЦЬ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ
ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Наведено основні положення і розрахункові залежності для визначення показників надійності одиниць рухомого складу залізниць. Стверджується, що звичайний спосіб проектування, заснований на застосуванні таких довільних коефіцієнтів, як коефіцієнт безпеки та запас міцності, не дозволяє судити про ймовірність відмови елемента. Тому поширена думка про те, що відмову елемента можна повністю виключити, використовуючи коефіцієнт запасу міцності, що перевищує деяке певне значення, не може бути достатньо обґрунтованим.

© Водянніков Ю.Я., Федосов-Ніконов Д.В., Стринжа А.М.,
Полулях В.М., 2022

Показано, що основною проблемою оцінювання надійностівагонів є відсутність достатньо обґрунтованих критеріїв, тому проблеманадійності - комплексна проблема й вирішувати її необхідно на всіх етапах життєвого циклу і різними засобами.

На підставі припущення, що впливи на вагон з'являються випадково і незалежно один від одного, а ймовірність появи пошкодження в досить малому інтервалі часу пропорційна довжині цього інтервалу, наведено формули для визначення емпіричного розподілу ймовірності відмови в залежності від терміну служби вагона.

У якості теоретичного закону запропоновано розподіл Вейбулла, такий вибір обумовлений тим, що окремими випадками розподілу Вейбулла є експонентний та нормальний закони. Параметри розподілу Вейбулла визначаються методом максимальної правдоподібності з урахуванням емпіричного розподілу. В якості критерію оцінки близькості емпіричного і теоретичного законів розподілу використовується коефіцієнт детермінації. Наведено формули для визначення показників надійності: ймовірність роботи елемента у справному стані, інтенсивність пошкоджень, гамма відсотковий ресурс, параметр потоку пошкоджень за період, середнє напрацювання на пошкодження.

На основі методичних положень розроблено алгоритм визначення показників надійності на ЕОМ, а також програмний комплекс, що складається з окремих взаємозалежних модулів.

Ключові слова: алгоритм, вагон, діагностика, модуль, надійність, рухомий склад.

Ю.Я. Водянников

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагостроения»

ул. И. Приходько 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина.

Телефон: +380 536(6) 61324, E-mail: vodyann@i.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6111-7128>

Д.В. Федосов-Никонов

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагостроения»

ул. И. Приходько 33, г. Кременчук, Полтавская обл., 39621, Украина

Телефон: +380 536(6) 61384, +380 68 0291614, E-mail: dima.nikonov@outlook.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0781-8182>

А.М. Стринжа

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагостроения»

ул. И. Приходько 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина.

Телефон: +380 536(6) 61384, E-mail: lab4.3ukrniiv@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3743-7006>

В.М. Полулях

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагостроения»

ул. И. Приходько 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина.

Телефон: +38 0536(6) 61384, E-mail: lab4.3ukrniiv@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2259-7157>

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЕДИНИЦ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Приведены основные положения и расчетные зависимости для определения показателей надежности единиц подвижного состава железных дорог. Утверждается, что обычный способ проектирования, основанный на применении таких произвольных коэффициентов как коэффициент безопасности и запас прочности, не позволяет судить о вероятности отказа элемента. Поэтому расхожее мнение о том, что отказ элемента можно полностью исключить, используя коэффициент запаса прочности, превышающий некоторое определенное значение, не может быть достаточно обоснованным.

Показано, что основной проблемой оценки надежности вагонов является отсутствие достаточно обоснованных критериев, поэтому проблема надежности – комплексная проблема и решать ее необходимо на всех этапах жизненного цикла и разными средствами. На основании предположения, что воздействия на вагон появляются случайно и независимо друг от друга, а вероятность появления повреждения в достаточно малом интервале времени пропорциональна длине этого интервала, приведены формулы определения эмпирического распределения вероятности отказа в зависимости от срока службы вагона.

В качестве теоретического закона предложено распределение Вейбулла, такой выбор обусловлен тем, что частными случаями распределения Вейбулла являются экспоненциальный и нормальный законы. Параметры распределения Вейбулла определяются методом максимального правдоподобия с учетом эмпирического распределения. В качестве критерия оценки близости эмпирического и теоретического законов распределения используется коэффициент детерминации. Представлены формулы для определения показателей надежности: вероятность работы элемента в исправном состоянии, интенсивность повреждений, гамма процентный ресурс, параметр потока повреждений за период, средняя наработка на повреждение.

На основе методических положений разработан алгоритм определения показателей надежности на ЭВМ, а также программный комплекс, состоящий из отдельных взаимосвязанных модулей.

Ключевые слова: алгоритм, вагон, диагностика, модуль, надежность, подвижной состав.

Вступ. Звичайний спосіб проектування, заснований на застосуванні таких довільних коефіцієнтів, як коефіцієнт безпеки та запас міцності, не дозволяє судити про ймовірність відмови елемента. Тому поширена думка про те, що відмову елемента можна повністю виключити, використовуючи коефіцієнт запаса міцності, що перевищує деяке певне значення, не може бути достатньо обґрунтованим. Насправді, при одному і тому ж коефіцієнті запаса ймовірність відмови може коливатися в досить широких межах (прикладом може служити бічна рама візка вантажного вагона).

Надійністю називається властивість технічного засобу виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників в заданих межах, що відповідають заданим режимам та умовам використання, технічного обслуговування, збереження і транспортування [1, 2].

Головною метою розрахунку надійності виробів є оптимізація схемних і конструктивних вирішень і параметрів, вдосконалення режимів експлуатації й організації технічного обслуговування і ремонту.

Надійність включає в себе такі основні показники [3]: безвідмовність, довговічність, збереженість та ремонтпридатність.

Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми. Особливістю проблеми надійності є її зв'язок з усіма етапами “життєвого циклу” рухомого складу залізниць (РСЗ) від зародження ідеї створення до утилізації: під час розрахунків і проектуванні виробу його надійність закладається в проект, при виготовленні надійність забезпечується, під час експлуатації – реалізується.

Тому проблема надійності – комплексна проблема й вирішувати її необхідно на всіх етапах життєвого циклу і різними засобами. Оцінка надійності системи може здійснюватися [4, 5, 6]:

- аналітичними методами;
- методами ймовірнісного моделювання;
- комбінованими методами, тобто шляхом спільного використання аналітичних методів і методів моделювання при розв’язанні однієї задачі.

Під час оцінювання надійності системи аналітичними методами результати розв’язку отримують у вигляді виразів, що пов’язують показники надійності системи з чинниками, які їх визначають, і дозволяють не тільки здійснювати оцінювання показників, але й досліджувати вплив на ці показники різних чинників. Це є незаперечною перевагою аналітичних методів. Методи ймовірнісного моделювання успішно застосовують для аналізу надійності систем практично необмеженої складності за будь-якого закону розподілу випадкових величин. Ці методи дозволяють врахувати значну кількість різних реально діючих чинників. Результатом ймовірнісного моделювання є кількісна оцінка, а не математичні залежності, які застосовують під час використання аналітичних методів. Для виявлення залежності показників надійності системи від різних чинників, які на неї впливають, необхідно застосовувати багаторазове моделювання функціонування системи з визначеною варіацією параметрів [5].

Під час використання комбінованих методів задача проектного оцінювання надійності складної системи поділяється на декілька підзадач, кожна з яких розв’язують тим методом (аналітичним або моделюванням), який найбільш ефективний щодо специфічних особливостей даної конкретної задачі. Завдяки цьому під час розв’язання складних задач комбіновані методи завжди ефективніші за аналітичні методи або методи моделювання.

В цій статті пропонується детально розглянути питання визначення показників надійності одиниць рухомого складу залізниць.

Мета статті – розроблення алгоритму та методологічних основ визначення показників надійності одиниць рухомого складу за результатами технічного діагностування в експлуатації.

Визначення параметрів надійності рухомого складу здійснюється на основі результатів технічного діагностування. Вирішення завдань технічної діагностики пов’язане з прогнозуванням надійності найближчим часом експлуатації (до наступно-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

го технічного огляду). Тут рішення ґрунтуються на моделях відмов, що вивчаються в теорії надійності [7].

Надійність є функцією багатьох факторів, більшість з яких є випадковими. Звідси ясно, що з оцінки надійності об'єкта потрібна велика кількість критеріїв. Критерій надійності – це ознака, яким оцінюється надійність об'єкта.

Кількісними характеристиками надійності можуть бути [1]:

- імовірність безвідмовної роботи;
- середній час безвідмовної роботи;
- інтенсивність відмов;
- частота відмов;
- різні коефіцієнти надійності.

Вирішення поставленого завдання вимагає розробки методики, яка передбачає проведення низки досліджень, що включають збирання та первинну обробку інформації про технічний стан одиниць рухомого складу, обробку та аналіз отриманої інформації, визначення показників надійності, дослідження залежності корозійної стійкості матеріалу від часу експлуатації, оцінку залишкового ресурсу конструкції. В подальшому запропоновано розробити методику на прикладі вантажного вагона.

При проведенні обстеження та подальшому аналізі технічного стану конструктивна схема вагона розчленовується на чотири основні структурні системи:

- рама та кузов з облаштуваннями, укріпленими на ньому;
- автозчепне обладнання;
- гальмівна система;
- ходова частина.

Перед проведенням обстеження технічного стану вагонів кожна система розчленовується на окремі вузли та деталі (надалі елементи). У теорії надійності під елементом зазвичай розуміють таку частину системи, надійність якої в процесі функціонування може бути розглянута незалежно від надійності тих, що входять в цю частину простіших складових. У процесі обстеження фіксуються всі види виявлених несправностей чи ушкоджень.

В процесі проведення дослідження у якості критерію відмови або граничного стану приймається такий технічний стан елементів вагонів в експлуатації, при якому забороняється постановка та проходження вагонів у поїздах, у тому числі в поїздах з порожніх вагонів [8].

Інформація, яка зібрана у процесі обстеження вагонів та відображена у картах обстеження, проходить первинну якісну та подальшу кількісну обробку, а також аналізується для виявлення причин появи несправностей.

Первинна обробка включає відсів явно недостовірного матеріалу, оцінку повноти та однорідності інформації та її ранжування. Ранжування матеріалів обстеження полягає у систематизації первинної інформації у порядку зростання терміну експлуатації на момент проведення обстеження (термін експлуатації - різниця між датою проведення обстежень та датою випуску вагона, або дати останнього ремонту).

У розрахунках надійності вагонів враховуються такі основні види відмов та відповідні їм моделі [8]:

- конструктивні (втома, закономірний знос, вплив неврахованих розрахунком факторів);
- технологічні (наявність прихованих дефектів, розсіювання характеристик якості виготовлення);

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

- експлуатаційні (порушення правил експлуатації, обслуговування та ремонту, у тому числі маневрових робіт).

Під час виникнення в одній конструктивній зоні елемента з різними за своєю фізичною природою ушкоджень, ці ушкодження враховуються як окремі, для визначення надійності елемента в цілому пошкодження сумуються.

На підставі досвіду експлуатації вагонів і спостереження за появою пошкоджень вводиться припущення, що впливи з'являються випадково і незалежно один від одного, а ймовірність появи пошкодження в досить малому інтервалі часу пропорційна довжині цього інтервалу [9]. У зв'язку з цим, первинна обробка результатів діагностування може бути представлена у вигляді обчислювального процесу, що полягає у визначенні:

✓ частоти появи несправності в i -му інтервалі

$$q_i = \frac{n_i}{N_i} \quad (1)$$

✓ накопиченої інтервальної частоти несправності в i -му інтервалі

$$r_i = \sum_{k=1}^i q_k = \sum_{k=1}^i \frac{n_k}{N_k} \quad (2)$$

✓ емпіричній вірогідності ушкодження за i -ий термін служби

$$Q_i^* = 1 - \exp(-r_i) = 1 - \exp\left(-\sum_{k=1}^i \frac{n_k}{N_k}\right) \quad (3)$$

У якості теоретичного закону розподілу приймається розподіл Вейбулла [1]:

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{\Theta}\right)^\beta\right); \quad (4)$$

де t – час напрацювання;

Θ, β – параметри розподілу.

Такий вибір обумовлений тим, що розподіл Вейбулла використовують для опису закономірностей відмов під дією зносу та старіння, відмов послідовно з'єднаних та дубльованих елементів. Особливо часто розподіл Вейбулла застосовують тоді, коли потік відмов нестаціонарний та інтенсивність відмов змінюється з часом. Розподіл Вейбулла двопараметричний. Параметр Θ називається параметром масштабу або ресурсною характеристикою, параметр β – називається параметром форми або кутовим коефіцієнтом розподілу Вейбулла. За допомогою параметра β зручно підбирати аналітичний опис для різних експериментальних залежностей. При $\beta=1$ розподіл Вейбулла стає експонентним. При значеннях параметра $\beta < 1$ інтенсивність відмов монотонно зменшується з часом, а при $\beta > 1$ монотонно зростає. Якщо коефіцієнт β укладено в межах 3,5-4, то розподіл Вейбулла в ряді випадків можна апроксимувати нормальним розподілом [9]. Підбираючи значення Θ і β , можна досягти наближення аналітичної функції розподілу до дослідних даних.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Цей розподіл характеризується такими співвідношеннями для визначення основних показників надійності [9]:

– ймовірність роботи елемента у справному стані

$$P(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{\Theta}\right)^\beta\right) \quad (5)$$

– інтенсивність пошкоджень

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\Theta} \left(\frac{t}{\Theta}\right)^{\beta-1} \quad (6)$$

– гама відсотковий ресурс

$$T_j = \Theta \sqrt{\ln \frac{\gamma}{100}} \quad (7)$$

– параметр потоку пошкоджень за період $\Delta t = t_i - t_{i-1}$

$$w(\Delta t) = \frac{1}{\Theta} \left(\exp\left(-\left(\frac{t_i}{\Theta}\right)^\beta\right) - \exp\left(-\left(\frac{t_{i-1}}{\Theta}\right)^\beta\right) \right) \quad (8)$$

– середнє напрацювання на пошкодження

$$t_{cp} = \Theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (9)$$

де $\Gamma(x)$ – гамма-функція, що визначається за формулою [4]:

$$\frac{1}{\Gamma(x)} = x \exp(cx) \prod_{k=1}^{\infty} \left(1 + \frac{x}{k}\right) \exp\left(-\frac{x}{k}\right), \quad (10)$$

де c – постійна Ейлера-Маскероні.

Параметри розподілу Θ і β визначаються з використанням методу максимальної правдоподібності [10, 11]. З цією метою формула для розподілу Вейбулла (1) після перестановки членів і подвійного логарифмування перетвориться до виду [12]:

$$\ln(x) = \frac{1}{\Theta} \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(x)}\right)\right) + \ln(\Theta), \quad (11)$$

Вводячи у формулу (11) такі позначення: $z_i = \ln\left(\ln\frac{1}{Q_i^*}\right)$; $y_i = \ln(x)$; $b = \frac{1}{\Theta}$; $a = \ln(\Theta)$, отримаємо систему лінійних рівнянь для визначення параметрів розподілу:

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

$$y_i = a + bz_i, \quad (12)$$

Визначення коефіцієнтів a і b рівняння (12) проводиться методом найменших квадратів:

$$U = \sum_{i=1}^n (y_i - (a + bz_i))^2 \quad (13)$$

де n – число інтервалів, а завдання зводиться до визначення таких значень коефіцієнтів a і b , які мінімізують суму відхилень емпіричних значень і значень обчислених за формулою (13).

Остаточні математичні висловлювання визначення параметрів розподілу мають вид:

$$\Theta = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(x_i) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln(\ln \frac{1}{Q_i^*}))^2 - \sum_{i=1}^n \ln(\ln \frac{1}{Q_i^*}) \cdot \ln(x_i) \cdot \sum_{i=1}^n \ln(\ln \frac{1}{Q_i^*})}{n \sum_{i=1}^n (\ln(\ln \frac{1}{Q_i^*}))^2 - (\sum_{i=1}^n \ln(\ln \frac{1}{Q_i^*}))^2} \quad (14)$$

$$\beta = \frac{n \sum_{i=1}^n \ln(\ln \frac{1}{Q_i^*}) \cdot \ln(x_i) - \sum_{i=1}^n \ln(\ln \frac{1}{Q_i^*}) \sum_{i=1}^n \ln(x_i)}{n \sum_{i=1}^n (\ln(\ln \frac{1}{Q_i^*}))^2 - (\sum_{i=1}^n \ln(\ln \frac{1}{Q_i^*}))^2} \quad (15)$$

В якості критерію оцінки близькості емпіричного і теоретичного законів розподілу використовується коефіцієнт детермінації, який обчислюється за формулою [13]:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \left(\left(1 - \exp\left(-\sum_{k=1}^i \frac{n_k}{N_k}\right) - \left(\exp\left(-\left(\frac{t_i}{\Theta}\right)^\beta\right)\right) \right)^2}{\sum_{i=1}^n \left(1 - \exp\left(-\sum_{k=1}^i \frac{n_k}{N_k}\right) \right)^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n \left(1 - \exp\left(-\sum_{k=1}^i \frac{n_k}{N_k}\right) \right) \right)^2}{n}} \quad (16)$$

На підставі наведених методологічних основ було розроблено алгоритм розрахунку параметрів статистичного розподілу для ЕОМ. Програмний комплекс складається з окремих взаємозв'язаних модулів. Блок-схеми програми визначення показників надійності на ЕОМ наведено на рис. 1 та 2.

При цьому конструкція вагона розбивається на вузли, кожний вузол, в свою чергу, розбивається на елементи.

Інформація, що задається для розрахунку:

➤ Кількість оглянутих вагонів в i -ому інтервалі;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

- Кількість оглянутих однойменних елементів в i -ому інтервалі;
 - Кількість однойменних елементів із несправностями даного виду;
- Інтервал часу напрацювання на відмову (*примітка: у якості інтервалу t (i) приймається час напрацювання на відмову на момент проведення діагностування*).

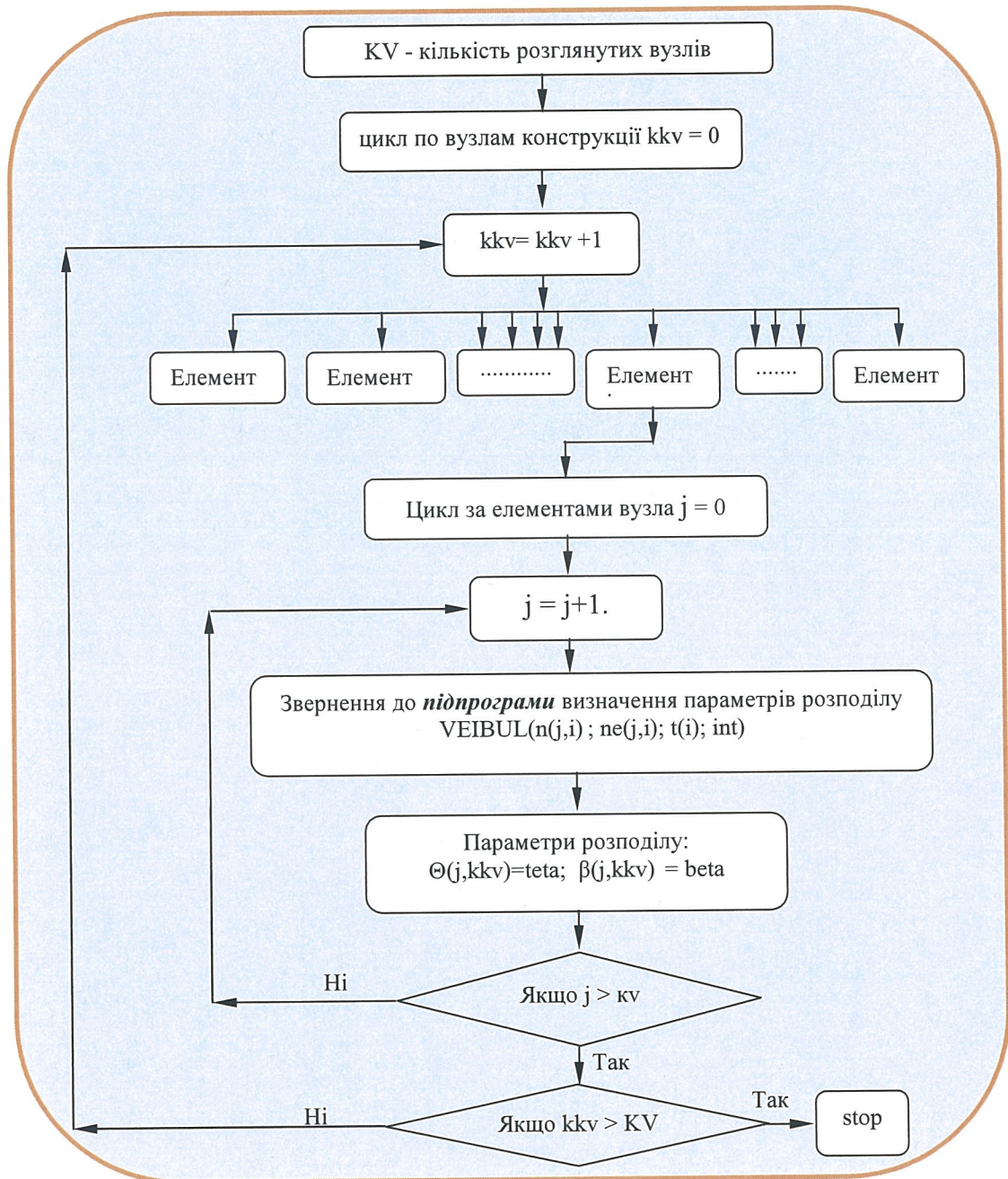


Рис. 1. Блок-схема основного модуля

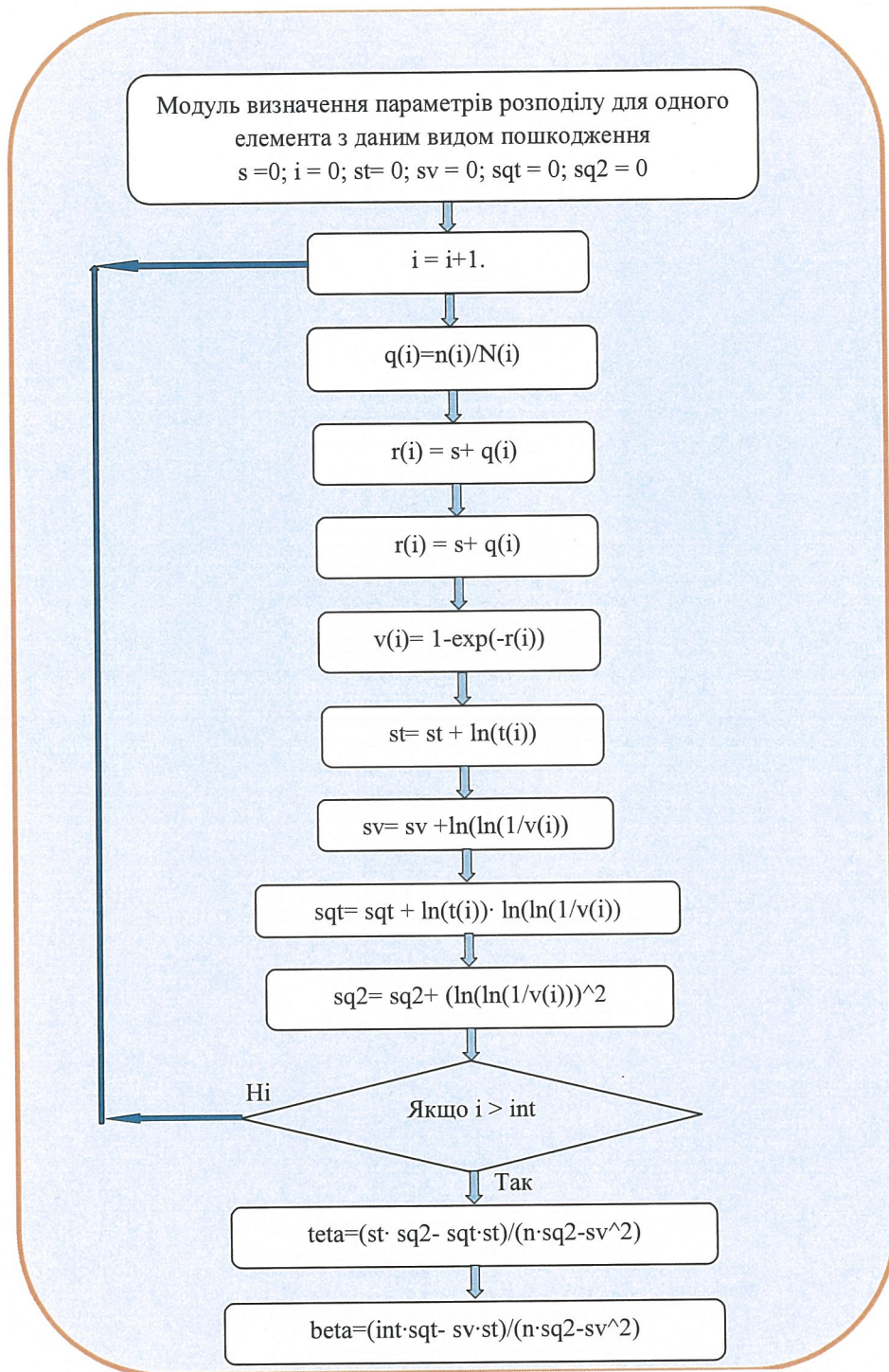


Рис. 2. Блок-схема модуля визначення параметрів Вейбулла

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Як приклад, розглянуто дослідження пошкодження колісних пар вантажних вагонів в експлуатації. Обстеженню піддавалися колісні пари, що надійшли у ремонт на вагоноремонтні підприємства (депо). Усього обстежено 2089 колісних пар, розподіл кількості яких за часом експлуатації після останнього ремонту представлено у таблиці 1.

Таблиця 1. - Кількісний розподіл за видами пошкоджень колісних пар

| № п/п | Вид несправності (пошкодження) | Кількість колісних пар, шт | Відсоткове відношення, % |
|--------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1 | Тільки вищірбини | 213 | 10,20 |
| 2 | Тільки повзуни | 117 | 5,60 |
| 3 | Лише «знос гребеня» | 882 | 42,22 |
| 4 | Повзуни + вищірбини | 18 | 0,86 |
| 5 | Вищірбини + «знос гребеня» | 684 | 32,74 |
| 6 | Повзуни + «знос гребеня» | 89 | 4,26 |
| 7 | Повзуни + вищірбини + «знос гребеня» | 76 | 3,64 |
| 8 | Відсутність пошкоджень | 10 | 0,48 |
| | Усього | 2089 | 100 |
| Усього | Вищірбини | 991 | 47,44 |
| | Повзуни | 300 | 14,36 |
| | «Знос гребеня» | 1731 | 82,86 |

У процесі обстеження було встановлено, що найбільш поширеними видами пошкоджень є:

1. повзуни на поверхні катання (плоське місце глибиною більш допустимої);
2. вищірбини (виділені ділянки поверхні катання більш допустимих розмірів або з наявністю в них тріщин або розшарування, що йдуть углиб металу);
3. тонкий гребінець (товщина гребеня менше допустимого);
4. гострий накат гребеня (виступ на поєднанні підрізаної частини гребеня з вершиною).

Для подальших статистичних досліджень такі види пошкоджень, як тонкий гребінь і гострокінцевий накат, об'єднувалися під одним найменуванням – «знос гребеня». Відсоткові відношення за видами ушкоджень представлені у таблиці 1.

За результатами розрахункових досліджень параметри статистичного розподілу Вейбулла наведено у табл. 2, графік ймовірності пошкодження колісної пари від терміну експлуатації - на рис. 3.

За результатами аналізу рис. 3 встановлено, що середнє напрацювання до появи пошкодження складало: вищірбини – 18,1 міс.; повзуни – 40,6 міс. «знос гребеня» – 12,1 міс.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 2. - Параметри розподілу теоретичного закону розподілу ймовірності Вейбулла

| Найменування пошкодження | Θ | β |
|--------------------------|----------|---------|
| Вищірбини | 20,07 | 1,53 |
| Повзуни | 45 | 1,52 |
| «Знос гребеня» | 13,3 | 1,42 |

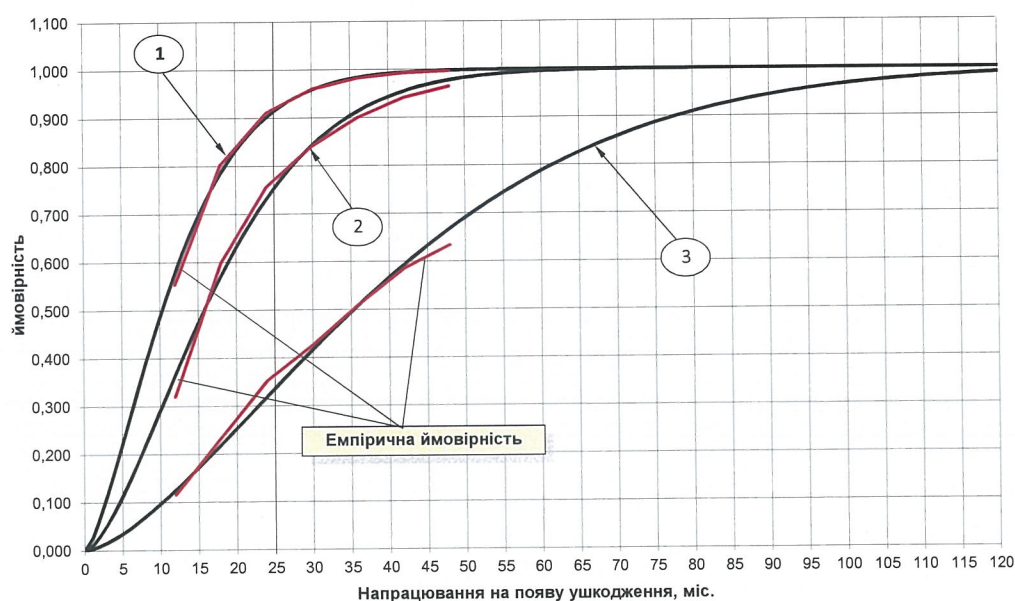


Рис. 3. Статистичне розподілення ймовірності пошкодження:
1 – знос гребеня; 2 – вищірбини; 3 – повзуни

Висновки. Розроблено алгоритм та методологічні основи визначення показників надійності одиниць рухомого складу за результатами технічного діагностування в експлуатації. На підставі виконаних розробок створено програмний комплекс, який дозволяє визначати показники надійності одиниць рухомого складу. Досліджено пошкодження колісної пари та параметри статистичного розподілу Вейбулла за допомогою створеного програмного комплексу, які дозволили отримати залежність ймовірності пошкодження колісної пари від терміну експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення. (Чинний від 1996-01-01). Київ. 43 с. (Державний стандарт України)
2. ГОСТ 410-87 Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность. М.: 1988. 109 с.
3. ДСТУ 2862-94 Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги. (Чинний від 1994). Київ. 38 с.
4. Баврин И.И. Теория вероятностей и математическая статистика / И.И.Баврин. М.: Высш. шк. 2005. 160 с:

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

5. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. Пособие / В.С. Пугачев. 2-е изд., исправл. и дополн. М.: Физматлит, 2002. 496 с.
6. Кибзун А.И. Теория вероятностей и математическая статистика. Базовый курс с примерами и задачами / А.И. Кибзун.- М.: Физматлит, 2002. 224 с.
7. ДСТУ 3004-95 Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення. Введ. 1994 Київ. 30 с.
8. ГОСТ 24026-80. Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения. Москва. 1980. 18 с.
9. К. Капур. Надежность и проектирование систем. // Капур К., Л. Ламберсон. М.:Издательство «Мир», 1980. 604 с.
10. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. -2-е изд. Перераб. и доп.- М.: Наука, 1971. 576 с.;
11. Р.С. Гутер. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта / Гутер Р.С., Овчинский Б.В.- «Наука», 1970. 122 с.
12. Е.Н. Львовский. Статистические методы построения эмпирических формул. М.: "Высшая школа", 1988. 86 с.
13. Закс Лотар. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 56 с.

Yu.Ya. Vodiannikov

State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute "
33 I. Prykhodka Str., Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine
tel: +380 536(6) 60324, E-mail: vodyann@i.ua
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6111-7128>

D.V. Fedosov-Nikonov

State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute "
33 I. Prykhodka Str., Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine
tel: +380 536(6) 61384, +380 68 0291614, E-mail: dima.nikonov@outlook.com,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0781-8182>

A.M. Strynsha

State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute "
33 I. Prykhodka Str., Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine
tel: +380 536(6) 61384, E-mail: lab4.3ukrniiv@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3743-7006>

V.M. Poluliakh

State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute "
33 I. Prykhodka Str., Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine
tel: +380 536(6) 61384, E-mail: lab4.3ukrniiv@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2259-7157>

ALGORITHM FOR DETERMINATION OF RELIABILITY INDICATORS OF RAILWAY ROLLING STOCK UNITS BASED ON THE RESULTS OF TECHNICAL DIAGNOSIS IN OPERATION

The main provisions and calculated dependences for determining the reliability indicators of railway rolling stock units are given. It is stated that the usual design method based on the application of such arbitrary factors as safety factor and margin of safety, does not allow to judge the probability of the element failure. Therefore, the common opinion that the failure of the element can be completely eliminated by using a safety factor in excess of a certain value cannot be sufficiently substantiated.

It is shown that the main problem of assessing the reliability of cars is the lack of sufficiently sound criteria, so the problem of reliability is a complex problem and must be addressed at all stages of the life cycle and by various means. Based on the assumption that the effects on the car occur randomly and independently of each other, and the probability of damage occurring in a relatively short time interval is proportional to the length of this interval, formulas are given for determining the empirical distribution of failure probability depending on the service life of the car.

The Weibull distribution is proposed as a theoretical law, this choice is due to the fact that special cases of the Weibull distribution are the exponential and normal laws. The parameters of the Weibull distribution are determined by the maximum likelihood method, taking into account the empirical distribution. The coefficient of determination is used as a criterion for assessing the proximity of the empirical and theoretical laws of distribution. Formulas for determining the reliability indicators are presented: the probability of the element operation in good condition, the intensity of damage, the gamma percentage resource, the parameter of the flow of damage over the period, the average time to damage.

On the basis of the methodological provisions, an algorithm for determining the reliability indicators on a computer, as well as a software package consisting of separate interconnected modules is developed.

Key words: algorithm, car, diagnostics, module, reliability, rolling stock.

REFERENCES

1. DSTU 2860-94 Nadijnist tehniki. Termini ta viznachennya [Dependability of technics. Terms and definitions]. (1996). *DSTU 2860-94 from the 1-st of January, 1996*. [in Ukrainian]
2. Nadezhnost v tekhnike. Metody kontrolya pokazateley nadezhnosti i plany kontrolnyh ispytaniy na nadezhnost [Industrial product dependability. Inspection methods of reliability indices and plans of check tests on reliability]. (1988). *GOST 410-87*. Moscow [in Russian]
3. Nadijnist tekhniki. Metody rozrahunku pokaznykiv nadiinosti. Zahalni vymohy [Dependability of technics. Methods of determination dependability predictions. Common requirements] (1994). *DSTU 2862-94* Kyiv [in Ukrainian]
4. Bavrin I.I. (2005). *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika [Probability theory and mathematical statistics]*. Moscow: Vysshaya shkola [in Russian]
5. Pugachev V.S. (2002). *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika: Ucheb. Posobie 2-e izd., ispravl. i dopoln [Probability theory and mathematical statistics: Handbook] (2nd ed., rev.)*. Moscow: Fizmatlit [in Russian]
6. Kibzun A.I. (2002). *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika. Bazovyy kurs s primerami i zadachami [Theory of probability and mathematical statistics. Basic course with examples and tasks]*. Moscow: Fizmatlit [in Russian]
7. Nadijnist tekhniki. Eksperimentalne otsiniuvannia ta kontrol nadiinosti. Osnovni polozhennia [dependability of technics methods of estimation dependability by operating data]. (1994). *DSTU 3004-95*. Kyiv [in Ukrainian]
8. Issledovatel'skiye ispytaniya. Planirovaniye eksperimenta. Terminy i opryedyeleniya [research tests. Experiment planning. Terms and definitions]. (1980). *GOST 24026-80*. Moscow [in Russian]
9. Kapur K., Lamberson L. (1980). *Nadezhnost i proyektirovaniye sistem [Reliability and system design]*. Moscow: Izdatelstvo «Mir» [in Russian]
10. Mitropolskiy A. K. (1971). *Tekhnika statisticheskikh vychisleniy [Statistical computing technique]*. [2nd ed., rev.] Moscow: Nauka [in Russian]
11. Guter R.S., Ovchinskij B.V. (1970). *Elyemyenty chislennogo analiza i matyematheskoy obrabotki rezultatov opyta [Elements of numerical analysis and mathematical processing of experimental results]*. Moscow: «Nauka» [in Russian]
12. Lvovskiy E.N. (1988). *Statisticheskie myetody postroyeniya empiricheskikh formul [Statistical methods for constructing empirical formulas]*. Moscow: "Vysshaya shkola" [in Russian]
13. Zaks Lotar (1976). *Statisticheskoe otsenivaniye [Statistical evaluation]*. Moscow: Statistika [in Russian].