

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМОВАНИХ ІМПУЛЬСНИХ УДАРНО-ВИТЯЖНИХ СИСТЕМ

В.І. Нікітін, доцент, к.т.н., І.С. Трунова, ст.викладач., к.т.н., ХНАДУ

***Анотація.** Досліджено умови вибору можливого типу закону розподілу випадкового часу безвідмовної роботи програмованої імпульсної ударно-витяжної системи, що включає функціональні підсистеми і що належить до області мехатроніки.*

***Ключові слова:** мехатронна система (МС) і її функціональні складові, надійність, закон розподілу часу безвідмовної роботи, функція інтенсивності відмов, експеримент, екстремальні закони розподілу часу безвідмовної роботи.*

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ИМПУЛЬСНЫХ УДАРНО-ВЫТЯЖНЫХ СИСТЕМ

В.И. Никитин, доцент, к.т.н., И.С. Трунова, ст. преподаватель, к.т.н., ХНАДУ

***Аннотация.** Исследованы условия выбора возможного типа закона распределения случайного времени безотказной работы программируемой импульсной ударно-вытяжной системы, включающей функциональные подсистемы и относящейся к области мехатроники.*

***Ключевые слова:** мехатронная система (МС) и её функциональные составляющие, надёжность, закон распределения времени безотказной работы, функция интенсивности отказов, эксперимент, экстремальные законы распределения времени безотказной работы.*

ANALYSIS OF RELIABILITY OF PROGRAMMABLE PULSE IMPACT-STRETCHING SYSTEMS

**V. Nikitin, assistant professor, cand. eng. sc.,
I. Trunova, senior lecturer, cand. eng. sc., KhNAHU**

***Abstract.** The conditions for a possible selection of the time-to-failure law type of programmable pulse impact-stretching system including functional subsystem and related to the field of mechatronics have been researched.*

***Key words:** mechatronic systems (MS) and its functional components, reliability, time-to-failure law, failure rate function, experiment, extreme time-to-failure law.*

Введение

В последние годы коллективом учёных ХНАДУ под руководством профессора Ю.В. Батыгина проведена системная работа по развитию теории импульсных процессов и внедрению результатов исследования в практику современных технологий, реализуемых импульсными системами [1].

Вместе с тем, качество товаров и услуг, выполняемых программированными импульсными ударно-вытяжными системами, в значительной степени зависит от показателей надёжности электромагнитных, электрических и механических процессов, протекающих в подсистемах, функционально интегрированных в анализируемую систему. Ставится задача разработки обоснованных реко-

мендаций по выбору типа показателей надёжности в форме законов распределения времени, адекватных особенностям анализируемой системы, относящейся к области мехатроники.

Анализ публикаций

Вопросы теории и практики надёжности применительно к функциональным составляющим анализируемой системы, таким как информационно-управляющая подсистема (с комплексом общего и специального программного обеспечения управления), электрическая подсистема (электроприводы, энергообеспечение и др.), механическая подсистема (гидроприводы и т.п.) достаточно полно изучены и отражены во многих научных публикациях [2–4]. Однако проблемные вопросы надёжности комплексных мехатронных систем [5, 6], в том числе системы рассматриваемого класса, на наш взгляд, отражены в научных публикациях недостаточно полно. Этот фактор определяет своевременность и актуальность настоящей публикации.

Цель и постановка задачи

Цель настоящего исследования состоит в разработке рекомендаций выбора показателей надёжности в виде закона распределения времени безотказной работы, адекватного особенностям структуры и применения исследуемой системы. Ставится задача разработки подобных рекомендаций на основе анализа особенностей вида функций интенсивности отказов системы.

Результаты исследований

Наиболее полной характеристикой, мерой и универсальной математической моделью надёжности некоторой гипотетической системы является «Основной закон надёжности» [2, 3], в его следующем виде:

$$P(T) = 1 - F(T) = \exp \left[- \int_0^T l(t) dt \right], \quad (1)$$

где $P(T)$ – вероятность безотказной работы системы на интервале времени «0, T »; $l(t)$ – функция интенсивности (опасности) отказов системы на интервале времени ($0 < t < T$).

Из выражения (1) следует, что, примени-

тельно к особенностям конкретной технической системы, вид и параметры основного закона надёжности трансформируются в тот конкретный вид, который будет определяться видом и параметрами функции интенсивности отказов $l(t)$.

Исследуем возможный вид функции интенсивности отказов $l(t)$ с учётом особенностей функциональной структуры программируемой импульсной ударно-вытяжной системы. Отметим, что анализируемая система, имеющая в своём составе несколько функциональных (независимых) подсистем, будет иметь столько же вероятных причин отказов, действующих одновременно и независимо одна от другой.

Тогда, при условии, что работоспособность исследуемой системы $R(t)$ мс в момент времени (t), на интервале времени ($0, T$), одновременно определяется работоспособностью всех её функциональных составляющих, основной закон надёжности, как вероятностную меру этого события, можно представить в виде:

$$\exp \left[- \int_0^T l(t) dt \right] = \exp \left[- \int_0^T \{ l(t)1 + l(t)2 + l(t)3 \} dt \right]. \quad (2)$$

Здесь индексы (1, 2, 3) присвоены параметрам соответственно управляющей, электрической и механической подсистем, как перечню причин вероятного отказа системы.

Из выражения (2) следует, что в соответствии с условием работоспособности системы (1), интенсивность её отказов равна сумме интенсивностей отказов функциональных составляющих (подсистем)

$$l(t) = l(t)1 + l(t)2 + l(t)3 \quad (3)$$

Учитывая далее [3], что: а) для информационно-управляющей подсистемы основным видом отказов являются самоустраниющиеся «сбои», с равномерным законом распределения времени и интенсивностью отказов $l(t)1 = 2/t$; б) для электрической составляющей – внезапные отказы с экспоненциальным законом распределения времени и интенсивностью отказов $l(t)2 = 1/T_0e$; в) для механической составляющей, с её «износowymi» отка-

зами, время наступления которых распределено по нормальному закону с интенсивностью отказов $l(t)$, асимптотически стремящейся к величине $(t - T_{ом})/S$, представим зависимость (3) в виде:

$$l(t) = 2/t + 1/T_{оэ} + (t - T_{ом})/S = t + 2/t - (T_{ом} - 1/T_{оэ}), \text{ для } S=1 \quad (4)$$

где t – переменная времени работы системы в интервале $(0; T)$; « S » – среднеквадратическое отклонение нормального закона распределения времени безотказной работы; $T_{оэ}$ и $T_{ом}$ – соответственно, среднее время безотказной работы электрической и механической подсистем.

Сделаем замену переменной ($t=x$) и представим (4) в виде:

$$y(x) = x + 2/x - c \quad (5)$$

Поставим численный эксперимент, допустив, что новая переменная « x » представляет собой дискретные величины, кратные периодам непрерывной работы системы (сутки, месяц, год...). Положим постоянную величину « $C=1$ », соответствующую при этом одному году, при условии, что среднее время безотказной работы механической системы $T_{ом} \gg 1/T_{оэ}$. Приведём функцию (5) к виду:

$$y(x) = x + 2/x - 1 \quad (6)$$

Зададим приведенный перечень значений « x », равных величинам (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10) лет непрерывной работы системы и построим график изменения функции $y(x)$, представленный на рисунке 1.

Из полученного графика функции $y(x)=x+2/x-1$, он же график изменения интенсивности отказов исследуемой программируемой импульсной ударно-вытяжной системы во времени, следует, что кривая $y(x)=l(t)$ на интервале времени $(0-T)$, равному 10 лет, не является монотонной и включает три характерных периода:

1 период (0-1) лет: период убывания интенсивности отказов системы (из-за самоустраняющихся отказов типа «сбой» в его программной составляющей);

2 период (1-2) года: период практически постоянного значения интенсивности отказов

системы (из-за проявившегося влияния стационарного потока отказов электрической составляющей, с характерными для неё внезапными отказами);

3 период (2-10) лет: период возрастания интенсивности отказов системы (из-за влияния отказов старения механической составляющей системы).

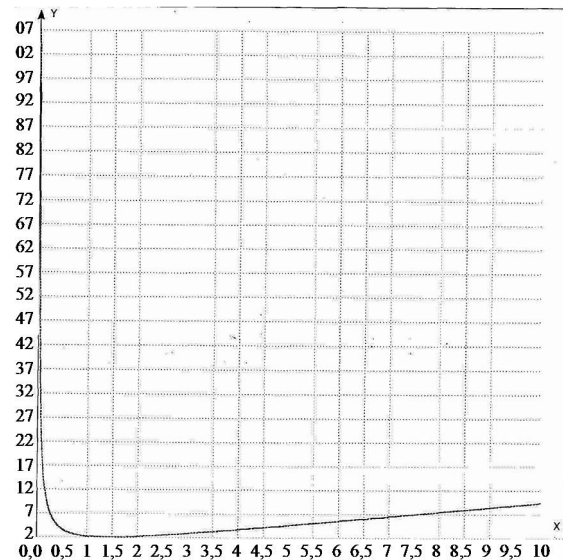


Рис. 1. График функции $y(x) = x + 2/x - 1$

Полученные результаты исследования функции интенсивности отказов системы являются достаточным условием для использования в дальнейшем возможностей раздела математической теории надёжности, в котором предположение о возрастании (убывании) функции интенсивности отказов системы и её элементов играет первостепенную роль в упрощении получения количественных результатов оптимальных правил эксплуатации проектируемых импульсных систем [7].

Обнаруженная немонотонность функции интенсивности отказов системы может быть использована далее в качестве критерия выбора конкретного типа закона распределения времени её безотказной работы. Среди множества известных распределений с немонотонными интенсивностями отказов находят применение такие типы распределений как Гамма-распределение, распределение Вейбулла, Логарифмически-нормальное распределение, отрицательное биномиальное распределение и др.

Поскольку всякий закон распределения времени безотказной работы, как математиче-

ская модель, отражает лишь наиболее значимые черты наблюдаемого явления, то при выборе адекватного типа закона важно учитывать саму физику явления исследуемых процессов в сочетании с математическими особенностями решаемой задачи. При этом важными являются физические испытания системы на надёжность. Но они, как правило, весьма продолжительны по времени и трудозатратны. Их проведение, применительно к классу изучаемых систем, составляют предмет дальнейших исследований надёжности мехатронных импульсных систем.

Выводы

1. Структурные и функциональные особенности подсистем программируемой импульсной ударно-вытяжной системы позволяют отнести её к классу мехатронных систем, надёжность которой является важным фактором качества выполняемых ею услуг и товаров.
2. С целью выбора типа закона распределения времени безотказной работы системы, как интегрированного показателя её надёжности, предложено исследовать вид функции интенсивности отказов импульсной системы.
3. В ходе проведенного исследования установлено, что функция интенсивности отказов импульсной (мехатронной) системы имеет немонотонный характер.
4. Установленный вид функции интенсивности отказов системы позволяет использовать математический аппарат теории надежности, базирующийся на признаках возрастания (убывания) этой функции.

5. Немонотонный характер функции интенсивности отказов определяет класс экстремальных (законов) распределений времени безотказной работы, на множестве которых с учётом дополнительных признаков может быть выбран конкретный вид закона, адекватный особенностям исследуемой системы.

Литература

1. Материалы Всеукраинской научно-практической конференции «Импульсные процессы в современных технологиях»//Автомобиль и электроника. Современные технологии: Сб. науч. тр.- Харьков: ХНАДУ, - 2014.-Вып.6.
2. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надёжности. Изд-во «Сов. радио», 1962.
3. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьёв А.Д. Математические методы в теории надёжности. Изд-во «Наука», 1965.
4. Герцбах И.Б. , Кордонский Х.Б. Модели отказов. Изд-во «Сов. Радио», 1966.
5. Никитин В.И. и др. Надёжность мехатронных систем// Автомобильный транспорт : Сб. научн. тр. – Харьков : ХНАДУ, - 2004.-Вып.14.-С.59-62.
6. Никитин В.И. и др. Анализ готовности мехатронных систем// Автомобильный транспорт : Сб. научн. тр. – Харьков : ХНАДУ, -2008.-Вып.23.-С.7-10.
7. Р. Барлоу, Ф. Прошан. Математическая теория надёжности. Изд-во «Сов. радио»,1969.

Рецензент: Ю.В. Батыгин д.т.н., профессор ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 7.11.2015 г.