

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЁТОМ НАДЁЖНОСТИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА

О.А. Терентьева

старший преподаватель, e-mail: Anatole4ka@yandex.ru

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия

Аннотация. В статье обоснована необходимость учёта надёжности человека-оператора эргатической системы, а также предложено программное приложение для оценки соответствующего показателя. В работе представлены результаты экспериментального исследования вероятности безотказной работы эргатических систем в зависимости от интенсивности отказов человека-оператора.

Ключевые слова: эргатическая система, многокомпонентность, человек-оператор, показатели надёжности, программное приложение.

Введение

Под эргатической системой будем понимать сложную систему, в которой одним из ключевых элементов является человек, человек-оператор или группа людей. Успешность работы такой системы определяется взаимосвязью человека и техники. Информация о техническом состоянии оборудования и работоспособности персонала имеет важное значение для решения задач обеспечения надёжности, безопасности и экономической эффективности комплексных систем.

В общем виде деятельность человека-оператора характеризуется быстротой и надёжностью. Показателем быстроты является время решения задачи, время от момента реагирования оператора на поступивший сигнал до момента окончания управляющих воздействий. Надёжность человека-оператора определяет его способность выполнять в полном объёме возложенные на него функции при определённых условиях работы [2].

В справочнике по надёжности Д. Мейстером даётся определение, согласно которому «...надёжность работы человека определяется как вероятность того, что работа или поставленная задача будет выполнена успешно персоналом на любой заданной стадии работы системы в течение заданного минимального времени (при условии наличия требования относительно времени)» [1].

Появление конструктивно более сложных и чрезвычайно опасных для обслуживающего персонала и окружающей среды систем способствует углублению и развитию проблемы их надёжности.

Во многих системах, где так или иначе человек контролирует какой-либо процесс, человеческий фактор становится определяющим при возникновении аварий.

Анализ данных по техногенным авариям и катастрофам также показывает, что значительная доля опасностей возникает в результате ошибочных и неправильно принятых человеком решений.

Таким образом, актуальным является исследование надёжности человека-оператора в комплексе с техническими системами, в которых имеют место его действия. При исследовании существенное значение имеет использование математических методов, современных информационных технологий и программного обеспечения прикладного назначения.

1. Постановка задачи на содержательном уровне

Проанализировав вопросы, связанные с задачами математического моделирования надёжности человека-оператора в эргатических системах, отмечено, что для решения таких задач возможно использование теории синтеза сложных технических систем. Математическое описание состояний действия оператора достигается с применением метода системного анализа, включающего в себя: структурный анализ, построение графов состояний оператора и их переходов, применение теории марковских случайных процессов, описываемых дифференциальными уравнениями. Решение дифференциальных уравнений требует наличия опытных данных по отказам человека-оператора, интенсивности этих отказов и интенсивности восстановлений.

В работе [3] представлена модель для вычисления показателей надёжности на примере нейронной системы с человеко-машинным комплексом контроля и управления процессом настройки и восстановления после отказов нейронной сети при абсолютной и конечной надёжности человека-оператора. Приводятся формулы для вычисления соответствующих параметров. Представленная модель может быть использована и для вычислений, применимых к другим системам: техническим, социальным, социально-техническим.

2. Разработка программы

В данной статье предпринята попытка провести теоретико-экспериментальные исследования для программной реализации рассмотренных математических моделей [3–5] расчёта показателей надёжности человека-оператора на примере эргатической системы. Автором статьи отмечено, что показателем надёжности человека-оператора является вероятность его безотказной работы – вероятность безошибочного выполнения операций. Именно этот показатель будет являться ключевым в выполняемых расчётах.

Для реализации алгоритмов расчёта характеристик надёжности был выбран объектно-ориентированный, функциональный и мультипарадигмальный язык программирования общего назначения C#. Также в качестве технологии для разработки Desktop-приложений была выбрана Windows Presentation Foundation – аналог WinForms, система для построения клиентских приложений Windows с визуально привлекательными возможностями взаимодействия с пользователем, и графическая подсистема в составе .NET Framework, использующая язык XAML.

Расчёт характеристик надёжности сводится к решению дифференциальных уравнений, описывающих математическую модель [3], и расчёту среднего времени безотказной работы всей системы. Решением дифференциального уравнения может быть численное приближение, достигнутое с помощью численных методов решения обычных дифференциальных уравнений, либо значения, вычисленные аналитически с помощью компьютерных программ.

Выполняемые функции программы:

- ввод параметров системы;
- расчёт вероятности безотказной работы системы;
- расчёт среднего времени безотказной работы.

Для численного решения обычных дифференциальных уравнений был выбран метод Рунге – Кутты 4-го порядка точности. Данный метод совмещает в себе эффективность и в то же время точность, в сравнении с остальными методами. Ниже приведён небольшой фрагмент метода SolveSystemRK4 класса RungeKuttaAlgorithm, который является реализацией метода Рунге – Кутты 4-го порядка для решения системы дифференциальных уравнений (рис. 1).

```
Ссылка: 1
public void SolveSystemRK4()
{
    double x = X0;

    for (int i = 1; i < _m; i++)
    {
        for (int j = 1; j < _n; j++)
            Y[i, j] = Y[i - 1, j];

        double[,] yt = new double[_m, _n];

        double[] k1 = new double[_n];
        double[] k2 = new double[_n];
        double[] k3 = new double[_n];
        double[] k4 = new double[_n];

        double h = (Xf - x) / _m;

        x += i * h;

        for (int k = 1; k < _n; k++)
            k1[k] = h * _funcHandler(i, k, x, Y);

        for (int k = 1; k < _n; k++)
            yt[i, k] = Y[i, k] + 0.5 * k1[k];

        for (int k = 1; k < _n; k++)
            k2[k] = h * _funcHandler(i, k, x + h * 0.5, yt);

        for (int k = 1; k < _n; k++)
            yt[i, k] = Y[i, k] + 0.5 * k2[k];

        for (int k = 1; k < _n; k++)
            k3[k] = h * _funcHandler(i, k, x + h * 0.5, yt);

        for (int k = 1; k < _n; k++)
            yt[i, k] = Y[i, k] + k3[k];
    }
}
```

Рис. 1. Метод SolveSystemRK4 класса RungeKuttaAlgorithm

Результатами проводимых экспериментов являются массивы данных, содержащие время, вероятность безотказной работы, вычисленные численным способом и с помощью аналитически выведенных формул, а также графики зависимости вероятности от времени и значение среднего времени безотказной работы.

3. Компоненты окна программы

Области ввода данных тематически сгруппированы следующим образом:

- область «входные данные» позволяет задать интенсивности отказов системы контроля и интенсивности отказов человека-оператора, шаг интегрирования, рассчитываемый интервал времени, число отсчётов на интервале;
- кнопка «вычислить» позволяет вывести результаты расчётов на экран;
- область вывода числовых значений в таблицу;
- область вывода числовых значений на график и среднее время наработки до отказа.

Как в таблице, так и на графике присутствуют вероятности безотказной работы, рассчитанные с помощью метода Рунге – Кутты и с помощью аналитических выражений. Пример заполнения начальных параметров системы изображён на рис. 2. Там же можно видеть результаты работы программы.

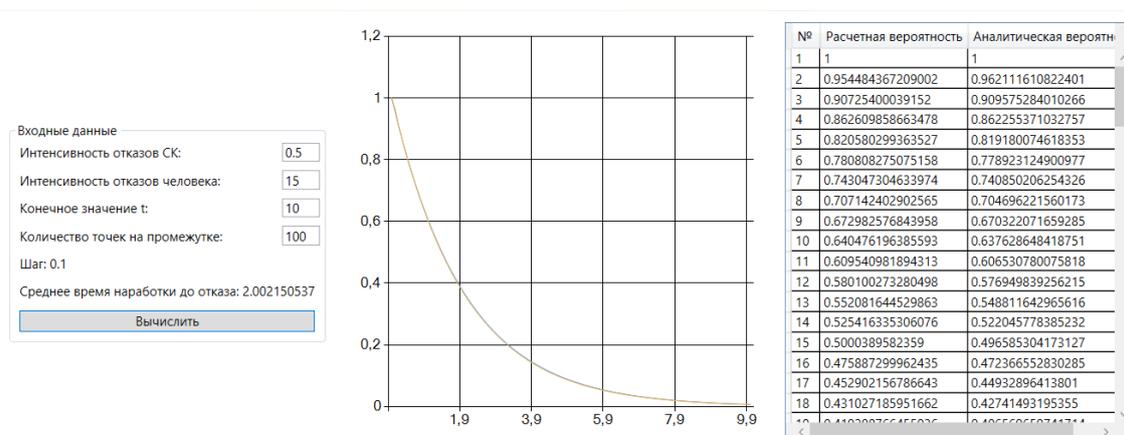


Рис. 2. Программа для расчета надежности эргатической системы

4. Исследование вероятности безотказной работы эргатической системы в зависимости от интенсивности отказов человека-оператора

Исходные данные исследования, среднее время безотказной работы, среднее время пребывания в подмножестве работоспособных состояний системы приведены в табл. 1.

Среднее время безотказной работы представляет собой общее время работы человека-оператора. Восстанавливаемость оператора оценивается как вероятность

Таблица 1. Исходные данные исследования

№ эксперимента	Интенсивность отказов системы контроля	Интенсивность отказов человека	Среднее время восстановления	Вероятность безотказной работы
1	20	1	1,002	0,869
2	15	1	1,004	0,909
3	10	1	1,009	0,936
4	0,5	1	2,33	0,995
5	0,5	5	2,018	0,981
6	0,5	10	2,004	0,967
7	0,5	15	2,002	0,954

исправлений им допущенной ошибки. Кроме того, следует отметить, что вероятность безошибочного выполнения всей операции в целом определяется при экспоненциальном распределении времени.

Степень отклонения измеряемого оператором количественного параметра системы от его истинного задаёт точность вычисления, которая количественно оценивается погрешностью. И так как значение погрешности, превысившее допустимые пределы, является ошибкой и её следует учитывать при оценке надёжности, поэтому в программе для сравнения происходит расчёт аналитической и расчётной вероятностей.

Проанализировав полученные результаты, представленные в табл. 1, можно сделать следующий вывод. На вероятность безотказной работы эргатической системы отказы системы контроля оказывают наименьшее влияние, нежели интенсивность отказов человека-оператора. Тем самым среднее время безотказной работы в первом случае будет больше. На рис. 2 приведены расчётная вероятность безотказной работы и аналитическая вероятность безотказной работы. Наблюдается хорошее совпадение. Модели для вероятности безотказной работы можно посмотреть в работах [5, 6]. При небольшом объёме экспериментальных данных по наработкам оборудования, что и наблюдается на практике, предлагается, используя результаты математического моделирования, оценить показатели надёжности по описанным моделям, точность которых подтверждена проведённым тестированием.

Заключение

В статье продемонстрирована адекватность работы программного приложения для расчётов надёжности многокомпонентной эргатической системы. Перспективой дальнейших исследований является оценка надёжности человека-оператора в эргатической системе по изложенной методике при условии абсолютной надёжности человека-оператора.

Литература

1. Справочник по надёжности: в 3 т. / под ред. Б.Р. Левина, Б.Е. Бердичевского; пер. с англ. М.: Мир. 1969. 1050 с.
2. ГОСТ 27.002-2015. Надёжность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016.
3. Потапов В.И. Вычисление показателей надёжности нейронной системы с человеко-машинным комплексом контроля и управления процессом настройки и восстановления после отказов нейронной сети // Омский научный вестник. 2011. № 2 (100). С. 180–187.
4. Присняков В.Ф., Присняков Л.М. Математическое моделирование переработки информации оператором человеко-машинных систем. М.: Машиностроение. 1990. 245 с.
5. Логвинов С.И. Определение характера влияния эргономических факторов на качество выполнения отдельных участков алгоритма стрельбы наводчиков САО // Сб. тез. докл. науч. техн. конф. ТВАИУ. 1987. С. 62–63.
6. Василенко Н.В., Макаров В.А. Модели оценки надёжности программного обеспечения // Вестник Новгородского государственного университета. 2004. № 28. С. 126–132.

STUDY OF RELIABILITY INDICATORS OF A MULTICOMPONENT ERGATIC SYSTEM TAKING INTO ACCOUNT THE RELIABILITY OF A HUMAN OPERATOR

О.А. Terentyeva

Assistant Professor, e-mail: Anatole4ka@yandex.ru

Dostoevsky Omsk State University, Omsk, Russia

Abstract. The article substantiates the need to monitor the reliability of the human operator of the ergatic system, and also proposes a software application for assessing the corresponding indicator. The paper presents the results of an experimental study of the probability of failure-free operation of ergatic systems depending on the frequency of failures of the human operator.

Keywords: ergatic system, multicomponent, human operator, reliability indicators, software application.

Дата поступления в редакцию: 24.03.2024