

УДК 378.147.88

Захарова А.Ю., Никитин С.А., Савицкая Т.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАНДАРТНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Захарова Анастасия Юрьевна, аспирант факультета информационных технологий и управления, e-mail:

zakharova.a.y@mail.ru;

Никитин Сергей Александрович, ассистент кафедры компьютерно-интегрированных систем в химической технологии;

Савицкая Татьяна Вадимовна, д.т.н., профессор, профессор кафедры компьютерно-интегрированных систем в химической технологии;

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20

В настоящей работе проведено сравнение стандартных программных комплексов для расчета показателей структурной надежности химико-технологических систем. Определены основные преимущества и недостатки рассмотренных программных комплексов. Рассмотрены примеры исследования резервирования структур в MATLAB.

Ключевые слова: надежность технических систем, стандартное программное обеспечение, структурная надежность, химико-технологическая система.

INVESTIGATION OF INDICATORS OF CHEMICAL-ENGINEERING SYSTEMS STRUCTURAL RELIABILITY WITH USE OF STANDARD SOFTWARE

Zakharova A.Y., Nikitin S.A., Savitskaya T.V.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

In this paper, the comparison of standard software for calculating indicators of the structural reliability of chemical-technological systems was made. The main advantages and disadvantages of the standard software were identified. Examples of the study of redundancy structures in the MATLAB were considered.

Keywords: reliability of engineering systems, standard software, structural reliability, chemical-engineering system.

В настоящее время при проектировании и модернизации химических, нефтеперерабатывающих, нефтехимических и других производств большое внимание уделяется увеличению производительности технологических схем при наименьших затратах. Возникновение аварийных ситуаций на опасных производственных объектах, связанных с отказами технологического оборудования, ошибками производственного персонала по техническому обслуживанию и ремонту может привести к существенным экономическим и социальным последствиям. Поэтому одним из важных научных направлений повышения эффективности и организации устойчивого функционирования химических производств является обеспечение и оптимизация надежности химико-технологических систем (ХТС) [1].

По своей значимости и важности надежность занимает первостепенное место среди других свойств объекта. Это вызвано следующими основными причинами:

– решение многих задач, возникающих на всех этапах жизненного цикла объекта (например, выбор варианта схемы и конструкции, определение гарантийных сроков, периодичность проверок,

замена оборудования), зависит от показателей надежности объекта и его элементов;

– надежность в значительной степени определяет качество работы любого объекта.

На основе принципов расчета комплексных показателей надежности объектов различают: физические методы расчета, методы прогнозирования, структурные и структурно-параметрические методы расчета [2,3].

Структурные методы являются основными методами расчета показателей надежности в процессе проектирования объектов, поддающихся разукрупнению на элементы, характеристики надежности, которых в момент проведения расчетов известны или могут быть определены другими методами. Расчет показателей надежности структурными методами в общем случае включает:

– представление объекта в виде структурной схемы, описывающей логические соотношения между состояниями элементов и объекта в целом с учетом структурно-функциональных связей и взаимодействия элементов, принятой стратегии обслуживания, видов и способов резервирования и других факторов;

– описание построенной структурной схемы надежности объекта адекватной математической моделью, позволяющей в рамках введенных

предположений и допущений вычислить показатели надежности объекта по данным о надежности его элементов в рассматриваемых условиях применения.

В данной статье рассматривается возможность расчета показателей надежности ХТС с использованием структурных методов исследования надежности в стандартном программном обеспечении.

Для исследования были выбраны ХТС с различными структурами: последовательно-

параллельным соединением аппаратов, восстанавливаемые и невосстанавливаемые системы с нагруженным, ненагруженным и облегченным резервом.

Для сравнения выбраны четыре наиболее распространенных программных комплекса (ПК): MATLAB, MathCad, Jupyter Notebook и Mathematica (таблица 1).

Таблица 1. Стандартное обеспечение для анализа и расчета надежности сложных технических систем

| № | Название программы | Разработчик | Сайт | Лицензия |
|---|--------------------|-----------------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| 1 | MATLAB | The MathWorks | www.mathworks.com | Бесплатная пробная (полная), платная |
| 2 | Jupyter Notebook | Project Jupyter (Open source) | jupyter.org | Бесплатная |
| 3 | Mathcad | Parametric Technology Corporation | ru.ptc.com | Бесплатная пробная (полная), платная |
| 4 | Mathematica | Wolfram Research | www.wolfram.com | Бесплатная пробная (полная), платная |

Mathematica – система компьютерной алгебры, в настоящее время разрабатывается компанией Wolfram Research. В системе Mathematica имеется полный набор функциональных возможностей для проведения анализа надёжности, расширяющий возможности по теории вероятностей и статистике. Поддерживается анализ всех распространённых структур систем таких, как последовательное или параллельное соединение, конфигурации k -из- n и последовательные k -из- n , так же, как и общие конфигурации, с использованием символьных и численных методов. Также здесь есть автоматизированная поддержка цепей Маркова и сетей массового обслуживания.

Принцип расчета в каждом из оставшихся трех программных пакетов следующий: В основе лежит

создание функций расчета требуемого показателя надежности для элементарных структур. Например, в случае исследования последовательно-параллельных структур создаются функции для трех или двух параллельных аппаратов [4]. Для случая с резервированием – функции для систем с нагруженным, ненагруженным и облегченным резервом. Далее следует расчет поставленной задачи с последовательным обращением к созданным функциям. При необходимости можно построить графики рассчитанных показателей.

На рисунке 1 приведен пример расчета вероятности безотказной работы (ВБР) системы из 3-х одинаковых элементов с нагруженным резервом в ПК MATLAB.

```

1 function VBR_a = VBR_a(time, lambda)
2     % только для случая a)
3     if (length(time)>1)
4         for i = 1:length(time)
5             P = exp(-lambda.*time(i));
6             Ps = P; % 1 резервированный элемент
7             for n=1:length(Ps)
8                 Ps(n) = 1-Ps(n);
9             end
10            VBR_a(i) = 1-prod(Ps);
11            % проверка на физический смысл (вероятность не может быть < 0)
12            if (VBR_a(i) < 0)
13                VBR_a(i) = 0;
14            end
15        end
16        plot(time, VBR_a, '-r', time, VBR_a,'ko','LineWidth',1.25);
17        hold on; grid on;
18        xlabel('Время, час','FontName','Times New Roman');
19        ylabel('ВБР, %','FontName','Times New Roman');
20        title('Изменение вероятности безотказной работы (ВБР)','FontName','T
21        hold off;
22    else

```

```

Command Window
>> VBR_a(1:200:1001, [0.00015 0.00015 0.00015]) % варьирование
ans =
    1.0000    1.0000    0.9998    0.9994    0.9985    0.9973

```

Рис.1. Пример расчета ВБР системы из 3-х одинаковых элементов с нагруженным резервом в ПК MATLAB

Функция VBR_a (рис.1) при переданных в нее параметрах вектора времени и вектора интенсивностей отказов рассчитывает вероятность безотказной работы системы с любым количеством резервных элементов, подключенных параллельно основному аппарату и работающих с ним в одном режиме, а также строит график по полученным данным.

На основе полученных результатов можно произвести варьирование исходной структуры и тоже отобразить полученные данные на графике. Это позволяет отследить вклад каждого элемента системы в надежность всей ХТС и сравнить эти результаты. На рисунке 2 отображено влияние количества резервных элементов на ВБР системы. Подобные расчеты используются при проектировании и модернизации оборудования ХТС на производстве.

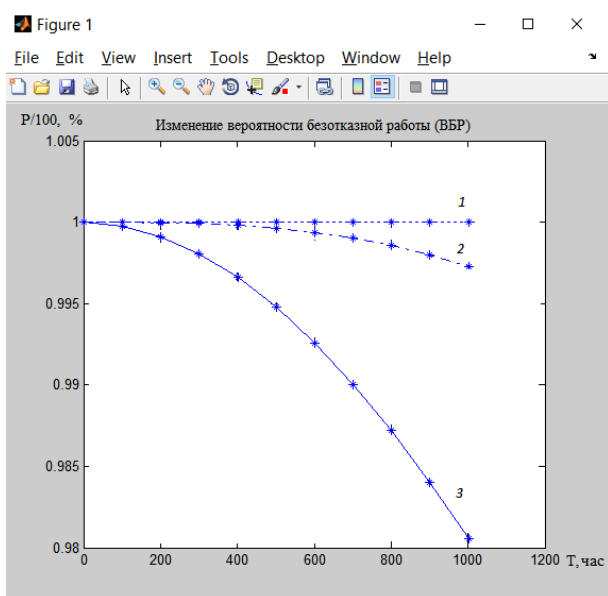


Рис.2. Результирующий график зависимости ВБР (P) системы от времени (T) для ХТС с различным числом резервных элементов в ПК MATLAB: 1 – система с 4-мя резервными элементами; 2 – система с 3-мя резервными элементами; 3 – система с 2-мя резервными элементами

Недостатком такого подхода к расчету является трудоемкость разработки отдельной функции для каждого случая. Также функция охватывает только один конкретный случай сочетания аппаратов. Если система содержит все вышеперечисленные структурные особенности, дополнительной сложностью будет установить правильную очередность и математическое соотношение существующих функций.

Анализ рассмотренных ПК по стоимостному критерию показал, что программная оболочка

Jupyter Notebook имеет явное преимущество, так как является бесплатной (Таблица 1).

Все рассмотренные выше ПК имеют достаточно широкий набор функциональных возможностей для осуществления вычислений различной сложности в разных областях науки. Не являются исключением задачи анализа надежности, которые также решаемы в каждом из них.

Среди перечисленных ПК явное преимущество имеет Mathematica. Она содержит модули, направленные на анализ надежности, построение и манипулирование графами. Mathematica обладает высокой скоростью вычислений, но требует изучения довольно специфического языка программирования.

С помощью Mathcad, MATLAB и Jupyter Notebook можно довольно быстро решить несложную задачу в области надежности без знания языка программирования, но с довольно глубокими знаниями теории анализа надежности, математической статистики и др. Также недостатком работы в данных ПК является отсутствие возможности графической визуализации блок-схем, диаграмм состояний системы, что сильно затрудняет расчеты при усложнении структуры рассчитываемой ХТС. На создание графического интерфейса веб-приложения анализа структурной надежности ХТС направлены перспективные исследования авторов [5].

Список литературы

1. Кафаров В.В., Мешалкин В.П., Грун Г., Нойманн В. Обеспечение и методы оптимизации надежности химических и нефтеперерабатывающих производств. М.: Химия, 1987. 272 с.
2. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 704 с.
3. Мешалкин В.П. Компьютерный анализ и оптимизация структурно-параметрической надежности сложных систем газоснабжения // Прикладная информатика. 2016. Т. 11, № 4 (64). С. 17-29.
4. Савицкая Т.В., Егоров А.Ф., Глуханова А.А., Никитин С.А., Захарова А.Ю. Учебно-исследовательские и информационно-образовательные ресурсы в междисциплинарной автоматизированной системе обучения на основе интернет-технологий // Открытое образование. 2016. Т. 20, № 5. С. 11-26.
5. Егоров А.Ф., Савицкая Т.В., Никитин С.А. Информационная система анализа надежности оборудования и химико-технологических систем с использованием веб-технологий // Прикладная информатика. 2016. Т. 11, № 4 (64). С. 30-41.