

ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ОТДЕЛОМ СИСТЕМНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Мельников А. Ю., Соломко Ю. А.

В работе представлена технология моделирования процесса расчета показателей надежности оборудования отделом системно-технического обеспечения. Приведена математическая модель расчета показателей надежности оборудования на основе вероятностно-физического метода и лямбда-метода. Разработана информационная модель, реализующая математический аппарат, в виде UML-диаграмм. Описана программная реализация в среде программирования Embarcadero Delphi XE3. Выполнено тестирование программного продукта на примере ПАО «НКМЗ».

В роботі представлена технологія моделювання процесу розрахунку показників надійності устаткування відділом системно-технічного забезпечення. Представлена математична модель розрахунку показників надійності устаткування на основі ймовірностно-фізичного методу і лямбда-методу. Розроблена інформаційна модель, яка реалізує математичний апарат, у вигляді UML-діаграм. Описана програмна реалізація в середовищі програмування Embarcadero Delphi XE3. Проведене тестування програмного продукту на прикладі ПАТ «НКМЗ».

Processing of measure calculation of reliability of the equipment applications by system and technical support department has been considered. The mathematical model of measure calculation of reliability of the equipment on the basis of a probable-physical method and a lambda-method approach has been worked out. The information model that implements the mathematical model has been developed by UML. The software implementation in a programming environment Embarcadero Delphi XE3 has been considered. The program has been tested on PAO «NKMZ» example.

Мельников А. Ю.

Соломко Ю. А.

канд. техн. наук, доц.,
зав. каф. ИСПР ДГМА
студент ДГМА
yulya-solomko@mail.ru

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 336.72

Мельников А. Ю., Соломко Ю. А.

ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ОТДЕЛОМ СИСТЕМНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

С ростом конкуренции производственные компании заинтересованы в обеспечении надежности работы оборудования. В этих условиях проблема поддержания на требуемом уровне показателей безотказности и долговечности оборудования становится всё более острой.

Персональные компьютеры широко используют в разных отраслях промышленности. ПК одного типа, однако разных конфигураций можно применять на разных степенях управление производством, что упрощает работу. Сложность и ответственность задач, решаемых с помощью ПК, предъявляют к ним и их комплектующим высокие требования по надежности. Для определения или подтверждения соответствия оборудования требованиям по надежности необходимы значительные затраты времени и средств [1].

Благодаря простоте модели широко используется лямбда-метод, основанный на экспоненциальном распределении, которое представляет собой однопараметрическую функцию. Однако однопараметричность модели накладывает ряд существенных ограничений, делает ее грубо приближенной и приводит к большим погрешностям при расчете надежности.

Методическая погрешность расчета надежности систем лямбда-методом приводит к занижению показателей надежности. В связи с этим лямбда-метод может быть использован только для сравнительного анализа надежности систем. Для оценки реальной надежности необходимо применять методы расчета, основанные на использовании более адекватных двухпараметрических моделей, в частности диффузионных распределений [2].

Вероятностно-физический метод является подходом, основанным на установлении связи вероятности отказа и физического параметра вызывающего отказ. Вследствие этого параметры получаемого вероятностного распределения отказов имеют определенный физический смысл. Наличие двух параметров в функции распределения, используемой в качестве теоретической модели надежности, представляется вполне достаточным для удовлетворительного согласования с экспериментальными данными.

Процесс деградации изделий электронной техники наряду с монотонными реализациями (механическое разрушение) вследствие электрических явлений имеет и немонотонные реализации, поэтому в общем случае принято рассматривать деградацию этих изделий как процесс с немонотонными реализациями. Поэтому в качестве закона распределения наработки до отказа ПК выбран закон DN-распределения [3].

Целью исследования является разработка технологии моделирования процесса расчета показателей надежности оборудования, путем обоснования принятия решения закупки комплектующих ПК отделом системно-технического обеспечения ПАО «НКМЗ».

Технология представляет собой совокупность математической модели и технического инструментария для её реализации.

Актуальность исследования обусловлена в потребности безотказной работы персональных компьютеров, напрямую связанных с производственным процессом.

Объектом исследования является процесс расчета показателей надежности элементов ПК отдела системно-технического обеспечения ПАО «НКМЗ».

Предметом исследования выступает математическая модель расчета показателей надежности, основанная на вероятностно-физическом методе, лямбда-методе, так же нахождении вероятности безотказной работы с учетом параллельного и последовательного соединения.

Расчет показателей надежности персональных компьютеров приводится на основе использования вероятностно-физического метода и в качестве сравнительного анализа лямбда-методом.

При расчете показателей надежности ПК вероятностно-физическим методом принимаются следующие допущения [4]:

- отказы элементов (модулей) независимы;
- отказ любого модуля приводит к отказу ПК;
- исходными (известными) данными для расчета показателей безотказности ПК являются средние наработки до отказа модулей;
- принято, что коэффициент вариации наработки до отказа модулей $v = 1$;
- закон распределения наработки до отказа ПК описывается DN-распределением вида:

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sqrt{\mu t}}\right) + e^2 \Phi\left(-\frac{t + \mu}{\sqrt{\mu t}}\right), \quad (1)$$

где μ – параметр масштаба распределения наработки ПК; $\Phi(\cdot)$ – функция нормированного нормального распределения (формула 2):

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{u^2}{2}} du, \quad (2)$$

Расчет надежности этим методом, используя характеристики модулей ПК, выполняем в такой последовательности:

- 1) определяем среднюю наработку до отказа ПК (формула 3):

$$T_{\text{ср}}^D = \mu = \left(\sum_{j=1}^n m_j T_j^{-2} \right)^{-1/2}, \quad (3)$$

где T_j – средняя наработка до отказа модуля j -го типа ($j = 1, 2, \dots, n$); m_j – количество модулей j -го типа.

- 2) находим гамма-процентную наработку ($\gamma = 0,9$) по формуле (4) или путем использования таблицы функции DN - распределения:

$$T_\gamma = \Phi\left(\frac{\gamma - \mu}{\sqrt{\mu\gamma}}\right) + e^2 \Phi\left(-\frac{\gamma + \mu}{\sqrt{\mu\gamma}}\right), \quad (4)$$

- 3) рассчитываем вероятность безотказной работы в течение заданной наработки ($t_{\text{зад}}$) по формуле (5):

$$P^D(t_{\text{зад}}) = \Phi\left(\frac{1 - x_{\text{зад}}}{\sqrt{x_{\text{зад}}}}\right) - e^2 \Phi\left(-\frac{1 + x_{\text{зад}}}{\sqrt{x_{\text{зад}}}}\right), \quad (5)$$

где $x_{\text{зад}}$ находится по формуле (6):

$$x_{\text{зад}} = t_{\text{зад}} / T_{\text{ср}}^D, \quad (6)$$

При расчета показателей надежности ПК лямбда-методом принимаются следующие допущения:

- отказы элементов (модулей) независимы;
- отказ любого модуля приводит к отказу ПК;
- исходными (известными) данными для расчета показателей безотказности ПК являются интенсивность отказов модулей;

- коэффициент вариации наработки до отказа модулей $v = 1$;
- закон распределения наработки до отказа ПК описывается экспоненциальным распределением вида (формула 7):

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (7)$$

где λ – общая интенсивность отказов всех модулей ПК, которая находится по формуле (8):

$$\lambda = \sum_{j=1}^n m_j \lambda_j, \quad (8)$$

где m_j – количество однотипных модулей ПК;

λ_j – интенсивность отказов модуля j -го типа.

Расчет надежности этим методом, используя характеристики модулей ПК, выполняем в такой последовательности:

- 1) определяем среднюю наработку до отказа ПК по формуле (9):

$$T_{\text{ср}}^e = \left(\sum_{j=1}^n m_j \lambda_j \right)^{-1}, \quad (9)$$

- 2) находим гамма-процентную наработку ($\gamma = 0,9$) по формуле (10):

$$T_{\gamma}^e = -T_{\text{ср}}^e \cdot \ln \gamma, \quad (10)$$

- 3) рассчитываем вероятность безотказной работы в течение заданной наработки ($t_{\text{зад}}$) по формуле (11):

$$P^e(t_{\text{зад}}) = e^{-t_{\text{зад}} \lambda}. \quad (11)$$

Рассмотрим упрощенную типовую структурную схему ПК в виде всех его основных составляющих элементов с учетом их последовательного и параллельного соединения (рис. 1):

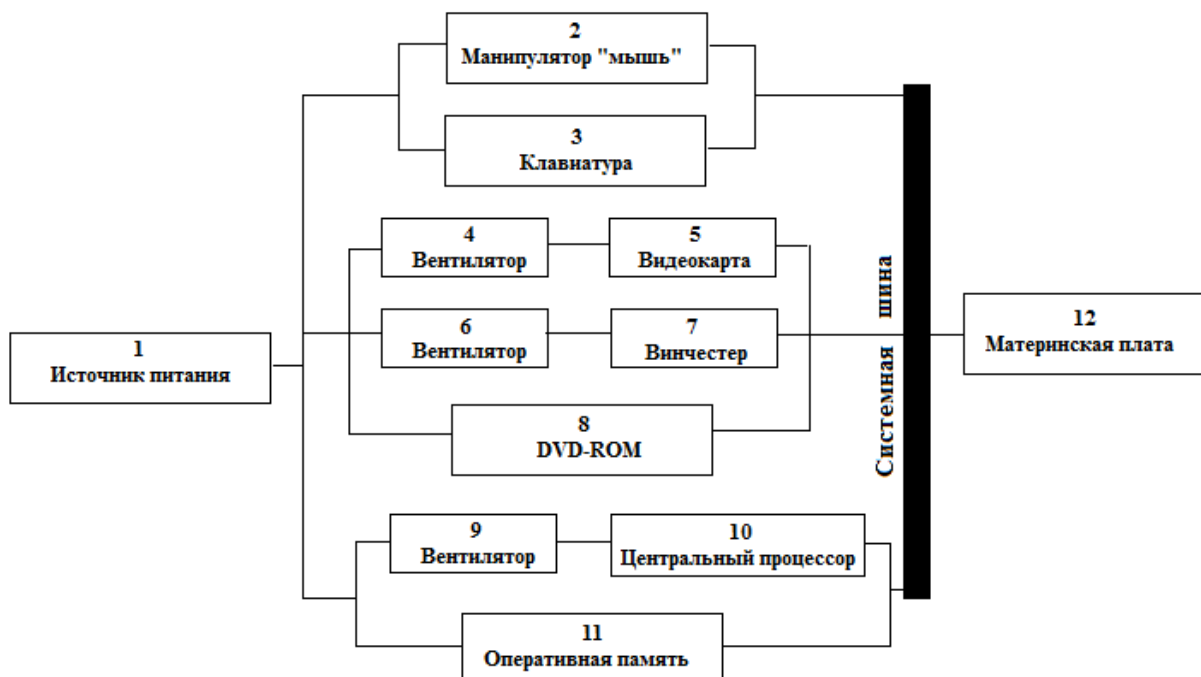


Рис. 1. Упрощенная типовая структурная схема ПК

Рассчитаем вероятность безотказной работы упрощенной типовой структурной схемы ПК (рис.1) с учетом последовательного и параллельного соединения элементов (модулей) учитывая, что

– вероятность безотказной работы двух последовательно соединённых элементов находится по формуле (12):

$$P = P_1 \cdot P_2, \quad (12)$$

– вероятность безотказной работы двух параллельно соединенных элементов рассчитывается по формуле (13):

$$P = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2), \quad (13)$$

– общее уравнение для определения вероятности безотказной работы системы структурной схемы ПК (формула 14):

$$P = P_1 \cdot P_G \cdot P_{12}, \quad (14)$$

– находим элемент с наименьшей вероятностью безотказной работы среди P_1, P_G, P_{12} ;

– повысив надежность элемента с наименьшей вероятностью, получаем повышение наработки и уменьшение интенсивности отказов.

Разработана информационная модель системы для расчета показателей надежности оборудования отделом системно-технического обеспечения ПАО «НКМЗ» при помощи универсального языка моделирования UML на основе сформированной математической модели [5].

Диаграмма вариантов использования отображает функциональные возможности системы (рис. 2). Внутренняя структура и типы отношений отражены на диаграмме классов (рис. 3).

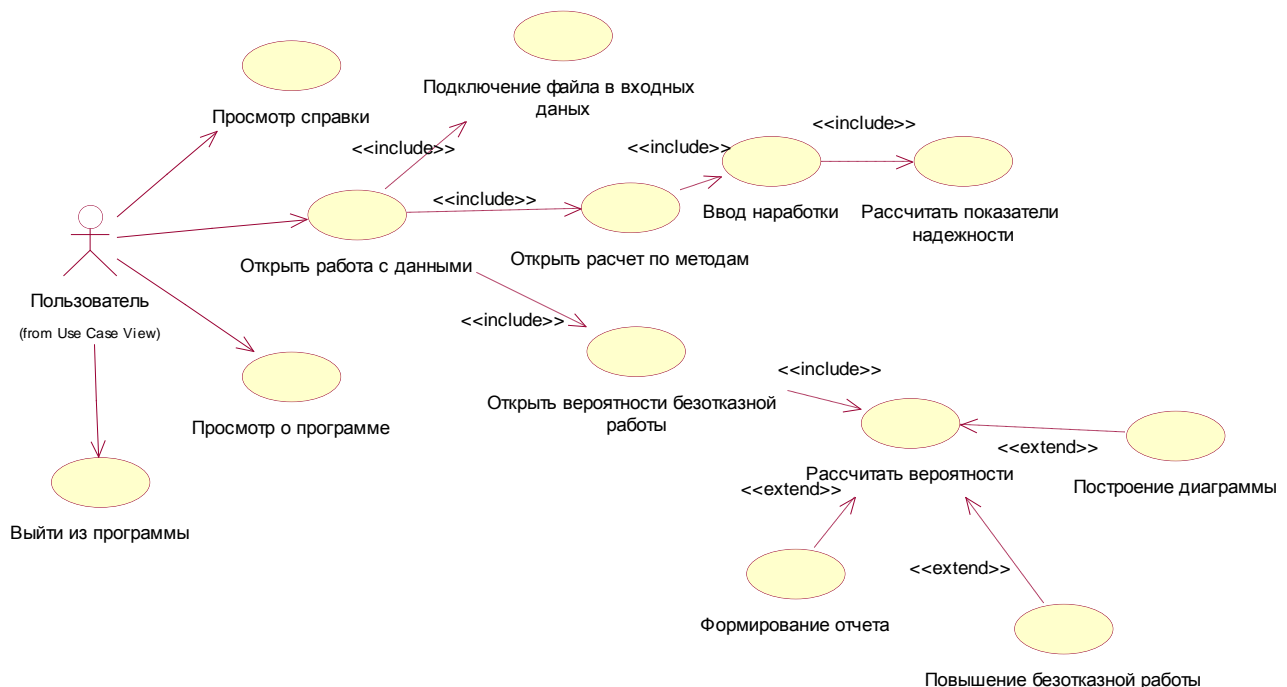


Рис. 2. Диаграмма вариантов использования информационной системы расчета показателей надежности оборудования

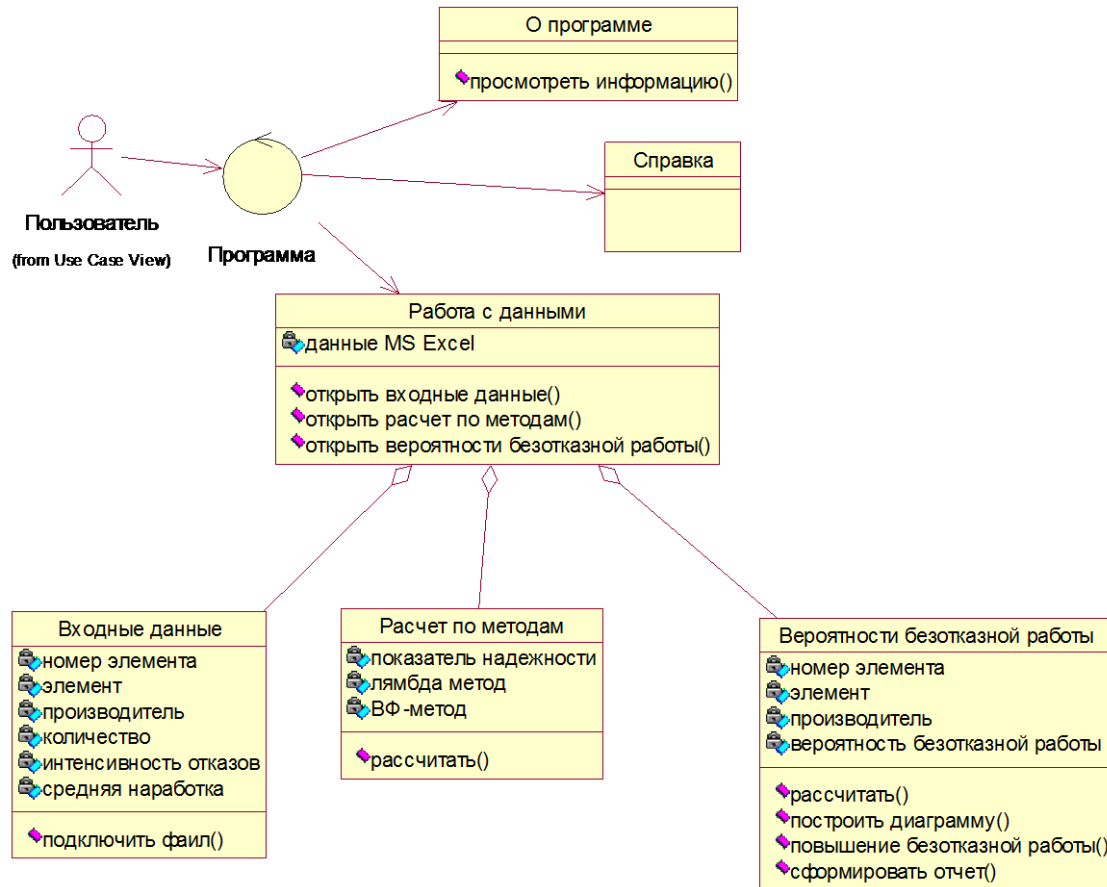


Рис. 3. Диаграмма классов информационной системы расчета показателей надежности оборудования

В среде программирования Embarcadero Delphi XE3 на основе предложенной математической и информационной моделей разработана ИС для расчета показателей надежности ПК отдела системно-технического обеспечения ПАО «НКМЗ».

Показатели надежности рассчитываются на основе входных данных, отображенных на рис. 4, подключенного файла MS Excel. На рис. 5 представлены результаты расчета показателей надежности: средняя наработка до отказа, гамма-процентная наработка, вероятность безотказной работы ПК по вероятностно-физическому и лямбда-методу.

The screenshot shows the 'Показатели надежности' (Reliability Indicators) application window. The 'Входные данные' (Input data) tab is active, displaying a table with 11 rows of equipment components. The table columns are: № (No.), Элемент (Element), Производитель (Manufacturer), Количество (Quantity), Интенсивность отказов (Failure intensity), and Средняя наработка, (Average operating time). A 'Подключить файл' (Load file) button is visible on the right side of the window.

№	Элемент	Производитель	Количество	Интенсивность отказов	Средняя наработка,
1	Источник питания	FSP	1	9,97	0,19
2	Манипулятор "мышь"	Canyon	1	5,41	0,21
3	Клавиатура	A4Tech	1	4,34	0,23
4	Вентилятор	Maxxtro	2	0,76	1,39
5	Видеокарта	GigaByte	1	8,11	0,17
6	Винчестер	Samsung	1	1,14	1,02
7	DVD-ROM	Sony	1	5,76	0,19
8	Вентилятор	DeerCool	1	0,48	0,13
9	Центральный процессор	Athlon	1	0,98	6,61
10	Оперативная память	Kingston	1	1,57	2,05
11	Материнская плата	ASUS	1	2,01	0,21

Рис. 4. Вкладка «Входные данные» после подключение файла

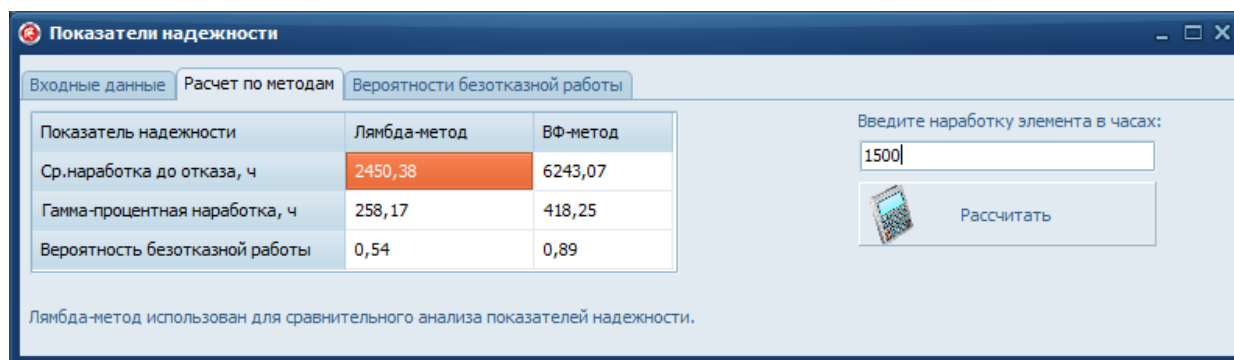


Рис. 5. Расчет показателей надежности по методам

На рис. 6 представлен расчет вероятностей безотказной работы каждого элемента персонального компьютера, общая вероятность безотказной работы персонального компьютера с учетом последовательного и параллельного соединения элементов. Для наглядного представления результатов расчета вероятностей безотказной работы программа выполняет построение диаграммы (рис. 7).

Информация о наименьшей вероятности безотказной работы элемента представлена на рис. 8. Программа предоставляет рекомендации необходимости замены элемента с самой минимальной вероятностью на элемент с более высокой вероятностью, с целью повышения периода наработки персонального компьютера. Так же для сравнения окно содержит информацию об общей вероятности безотказной работы ПК до повышения и после, с учетом этих данных был построен график повышенной общей вероятности безотказной работы персонального компьютера от текущих значений.

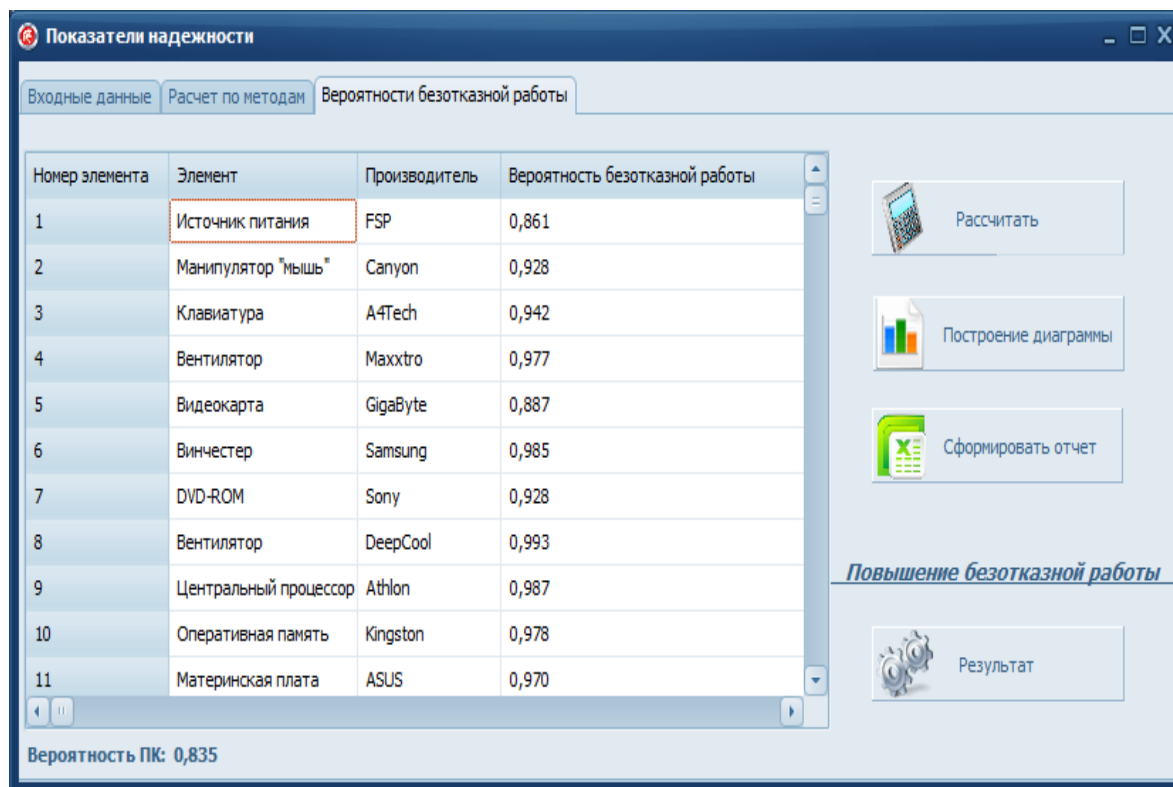


Рис. 6. Расчет вероятностей безотказной работы с учетом параллельного и последовательного соединения

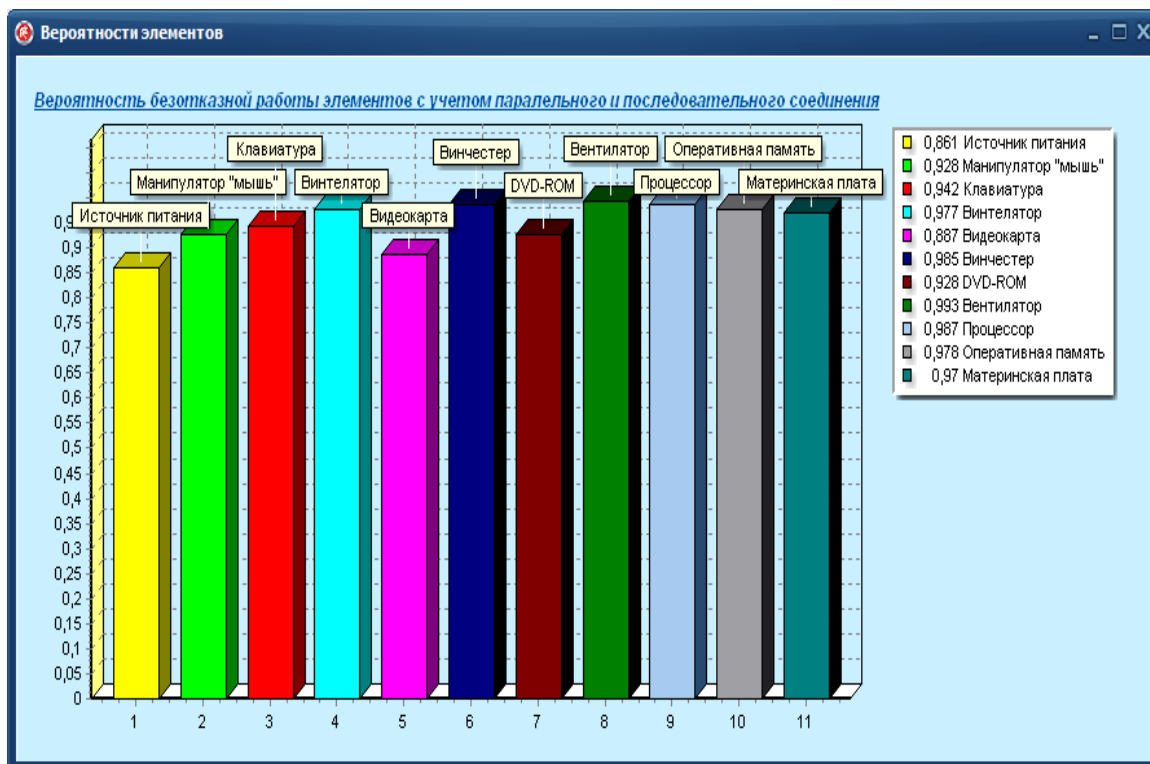


Рис. 7. Диаграмма вероятностей безотказной работы элементов ПК

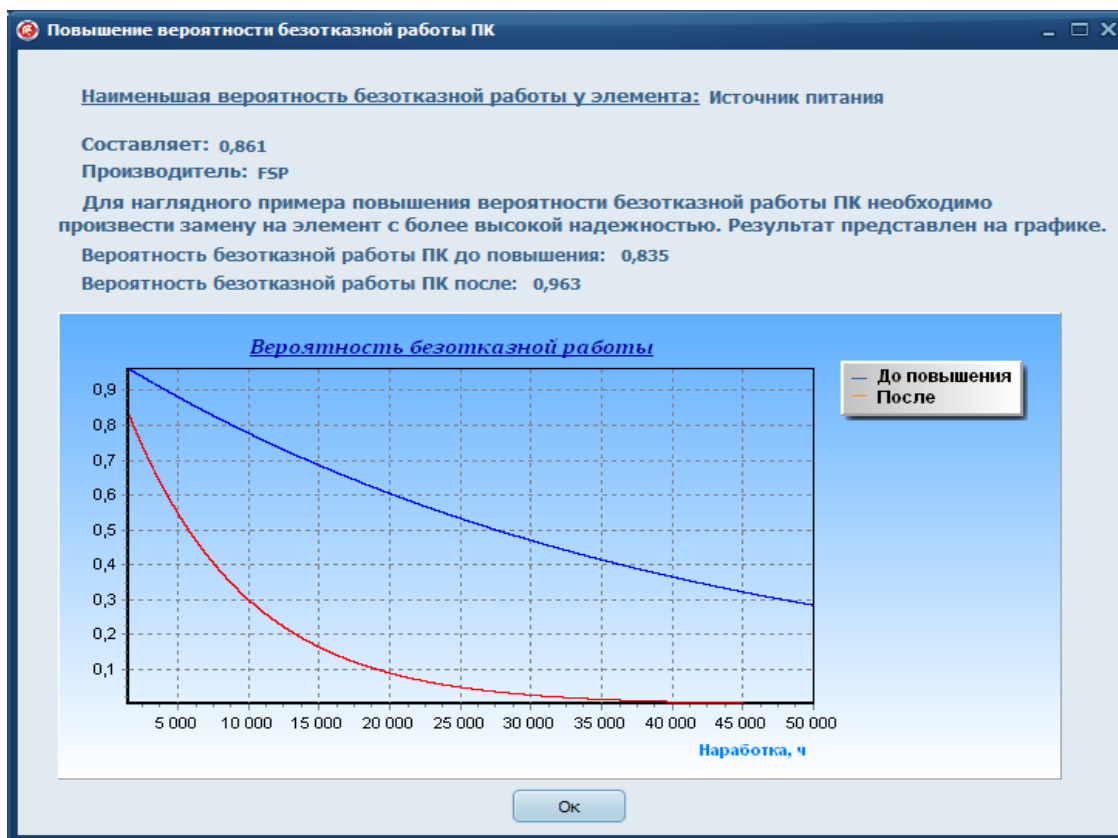


Рис. 8. Окно «Повышение вероятности безотказной работы ПК»

Основные технико-экономические показатели при использовании разработанной информационной системы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технико-экономические показатели

Наименование показателя	Методика расчета	Величина
Смета затрат, грн.		4123,67
Экономический эффект	$\Theta_{\text{эф}} = \Theta \sum - E_{\text{н}} K$	5618,06
Срок окупаемости, лет	$T_p = \frac{1}{E_p}$	0,56
Годовая величина экономии средств, грн.	$\Theta_{\Gamma} = S(k_2 - k_1)$	7350

Коэффициент экономической эффективности капиталовложений рассчитан на основе снижения себестоимости в результате использования ПП на одну гривну единовременных затрат, и рассчитывается по формуле (15):

$$E_p = \frac{\Theta_{\Gamma}}{K_{\text{зат.}}} \quad (15)$$

Получаем: $E_p = 7350/4123,67 = 1,78$.

Так как расчетный коэффициент экономической эффективности больше нормативного равного 0,42 грн на 1 грн вложенных средств, то использование разработанного программного продукта является экономически целесообразным.

Срок окупаемости составляет 0,56 года, что является меньше нормативного, это означает, что разработанная ИС расчета показателей надежности оборудования предоставляет получить годовую экономию средств, что позволяет сделать выводы относительно реальной эффективности данной системы.

ВЫВОДЫ

В статье представлена математическая модель расчета показателей надежности комплектов ПК. В качестве использованных методов были выбраны вероятностно-физический и лямбда-метод, также нахождение вероятности безотказной работы по лямбда-методу с учетом параллельного и последовательного соединения. С целью повышения безотказной работы ПК данная система рекомендуется для использования в работе отдела системно-технического обеспечения ПАО «НКМЗ».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутенко Е.В. Исследование надежности персональных компьютеров на основе эксплуатационных данных об отказах / Е.В. Бутенко // Математические машины и системы. – 2000. – №1. – С. 80–82.
2. Основы теории и расчёта надёжности / И.М. Маликов, А.М. Половко, Н.А. Романов, П.А. Чукреев. – 2-е изд. – Л.: Судпромгиз, 2000. – 144 с.
3. Можжаев А.С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности сложных систем: учебное пособие / А.С. Можжаев. – Л.: ВМА, 2003. – 68 с.
4. Азарсков В.Н. Надежность систем управления и автоматики / В.Н. Азарсков, В.П. Стрельников. – К.: НАУ, 2004. – 164 с.
5. Мельников А.Ю. Объектно-ориентированный анализ и проектирование информационных систем: учебное пособие / А. Ю. Мельников. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Краматорск: ДГМА, 2012. – 172 с.