

**Байнева И.Д., Байнев В.В.**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

*В статье описываются методики, модели, программное обеспечение для оценки надежности различных технических объектов.*

**Ключевые слова:** надежность, метод, программа, распределение, закон, испытание, характеристика, вариационный ряд, безотказность, отказ, интерполяция.

### **Введение**

Развитие современной техники и технологий в последние десятилетия осуществляется большими скачками. При этом особенно актуальной является проблема обеспечения и повышения надежности технических объектов (приборов, аппаратов, оборудования, технологических комплексов, строительных конструкций и пр.), которые работают в условиях постоянной миниатюризации элементов и конструкций, различных нагрузок (температурных, механических, химических и пр.). Надежность, являясь одним из основных показателей качества любого изделия, в значительной степени определяет экономическую целесообразность его производства. Решение задачи повышения надежности усложняется тем, что она является многогранной и отражает специфику всех фаз существования технических объектов (ТО) – от стадии проектирования до стадии эксплуатации.

### **Теоретическая часть**

#### **1. Аспекты теории надежности**

Наука о надежности возникла на стыке ряда научных дисциплин, а именно: теории вероятностей и случайных процессов, математической логики, термодинамики, технической диагностики и др., развитие которых взаимосвязано и находит своё отражение в развитии теории надежности. К числу актуальных вопросов теории надежности относятся оценка и обеспечение надежности не только уже упомянутых ТО, но и современных автоматизированных систем управления ТО различного назначения (технологическим процессом, предприятием, производством, образованием и пр.).

Причинами изготовления ненадежной продукции могут быть: отсутствие регулярной проверки соответствия стандартам; ошибки в применении и неправильный контроль материалов в ходе производства; отсутствие испытаний материалов на их соответствие требованиям качества и безопасности; неправильный учет и отчетность по контролю; невыполнение стандартов по приемочным испытаниям; отсутствие инструкций и указаний по проведению контроля.

В области надежности, как правило, выделяют такие направления как техническая надежность и эксплуатационная надежность. Техническая надежность является исходной базой для определения и расчета показателей работоспособности ТО и их элементов, начиная с этапа проектирования и заканчивая процессом изготовления. При этом обеспечивается ремонтпригодность, обосновывается долговечность, учитываются особенности производственно-технологических процессов и т.д. [1].

Основной задачей эксплуатационной надежности является разработка и обоснование комплекса мероприятий по обеспечению надежности ТО уже непосредственно при их эксплуатации (работе). Эти мероприятия могут применять методы определения показателей надежности реальных ТО, осуществлять прогнозирование и непосредственное управление их техническим состоянием, обосновывать объемы и периодичность ремонтных работ, выстраивать рациональную организацию процесса технической эксплуатации и др.

## **2. Цели, методы и модели расчета надежности**

К основным целям определения и расчета надежности ТО можно отнести обоснование выбора того или иного конструктивного решения, подтверждение или неприятие выбора материалов или элементов, выяснение возможностей и целесообразности резервирования и т.д.

Очень часто представления о надежности ТО формируются на фактическом материале лабораторных, стендовых и производственных испытаний, на результатах длительных наблюдений за их работой в реальных условиях. На основании этих оценок подбирается соответствующее распределение случайных величин, которое и принимается за расчетную модель. Обработка и обобщение такой информации базируется на теории вероятностей, математической статистике, системном анализе, также привлекаются методы оптимизации, прогнозирования, подобия, экспертных оценок и др.

## **3. Показатели надежности технических объектов**

При исследовании надежности ТО приходится определять те или иные параметры по весьма ограниченному объему статистического материала.

Количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность технического объекта, называется показателем надежности. К показателям надежности относятся безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Эксплуатационная надежность обусловлена безотказностью и долговечностью наиболее часто выходящих из строя элементов, и ремонтпригодностью с точки зрения устранения случайных отказов.

Т.к. в некоторых случаях отказы отдельных элементов объектов не означают полной потери их работоспособности, то характеристики безотказности и ремонтпригодности являются в этом случае односторонними, а надежность должна оцениваться обобщенными показателями (комплексные показатели надежности).

Общее число таких показателей, подразделяемых на основные и второстепенные и регламентируемых государственными стандартами, составляет более 70. Это существенно затрудняет формирование требований к надежности ТО и контроль за их уровнем. В качестве компромиссного

варианта отечественные предприятия-изготовители закладывают в рабочую документацию на ТО очень ограниченное число основных показателей надежности. Это:

1. Показатели безотказности: вероятность безотказной работы; вероятность отказа; интенсивность отказов; средняя наработка до отказа; параметр потока отказов; средняя наработка на отказ.

2. Показатели долговечности (ресурсные показатели): гамма-процентный ресурс; средний ресурс; срок службы.

3. Показатели ремонтпригодности: среднее время восстановления; удельная суммарная трудоемкость технических обслуживаний; удельная суммарная трудоемкость unplanned текущих ремонтов.

4. Показатель сохраняемости: средний срок сохраняемости.

5. Комплексные показатели: коэффициент готовности; коэффициент технического использования.

Проблема надежности любых объектов связана с изучением явления отказа. Процесс функционирования восстанавливаемого объекта можно представить, как последовательность чередующихся интервалов работоспособности и восстановления (простоя) после отказа (рис. 1).

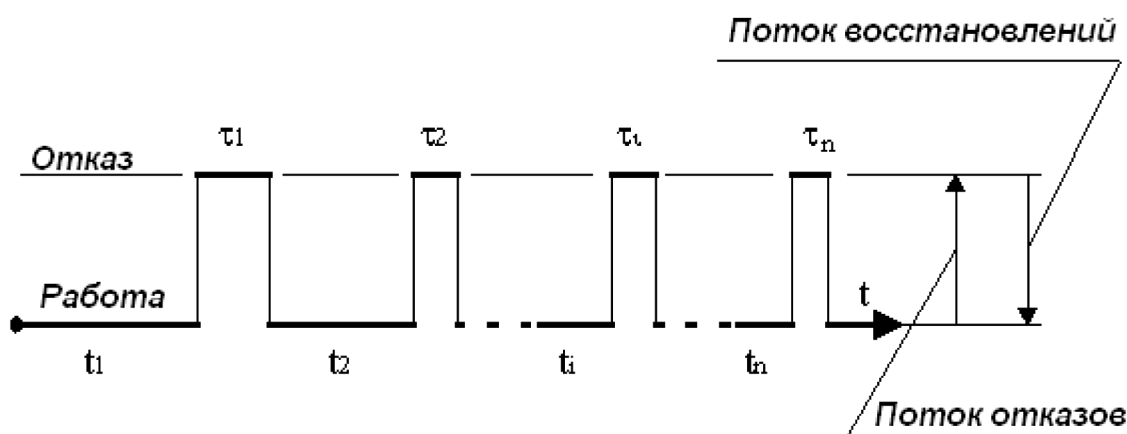


Рис. 1. График функционирования восстанавливаемого объекта:  
 $t_1 \dots t_n$  – интервалы работоспособности;  $\tau_1 \dots \tau_n$  – интервалы восстановления

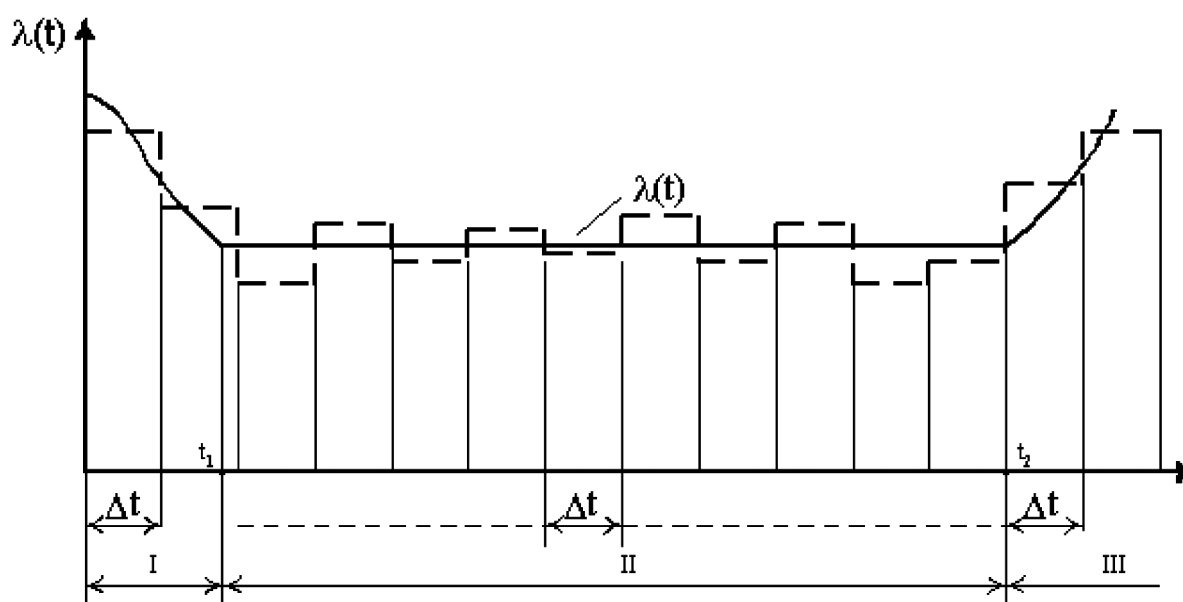


Рис. 2. Кривая зависимости интенсивности отказов от времени  
 I – интервал приработки, II – интервал нормальной эксплуатации, III – интервал старения

Регистрация числа и времени отказов позволяет получить для каждого из блоков зависимость интенсивности отказов  $\lambda$  от времени  $t$ . Если при статистической оценке время эксперимента разбить на достаточно большое количество одинаковых интервалов  $\Delta t$  за длительный срок, то результатом обработки опытных данных будет график, изображенный на рис. 2.

#### 4. Характеристика испытаний на надежность

Испытания на надежность проводятся по определенной унифицированной программе, которая является их организационно-методической основой. Программа устанавливает план испытаний (наблюдений), методы обработки полученных данных, правила принятия решений [3,4].

План испытаний определяет число испытываемых объектов (наиболее ответственная задача), продолжительность и критерии прекращения испытаний, число ступеней контроля, характер действий с отказавшими (достигшими предельного состояния) объектами – замена, восстановление и т.п. В большинстве случаев такие планы стандартизованы.

Сбор исходных данных для определения показателей надежности осуществляется визуально, с помощью специальных счетчиков наработки, счетчиков числа включений и др., а также на основании журналов техобслуживания и ремонта, требований на запасные части, учета работы механизмов, учета наработок и отказов и т.п.

Принятие решений по результатам испытаний осуществляется по определенным правилам, которые с математической точки зрения являются индикаторными функциями, принимающими значения 1 или 0. Положительное решение (1) означает соответствие, а отрицательное (0) – несоответствие контролируемых показателей заданным требованиям (нормам).

В настоящее время при определении показателей безотказности и долговечности ТО используются три источника информации: определительные испытания; контрольные испытания; эксплуатационные испытания в производственных условиях.

Определительные испытания позволяют установить номинальные значения показателей надежности новых образцов техники, которые закладываются в нормативную документацию.

Контрольные испытания проводятся на базовых серийных ТО для оценки соответствия фактических значений показателей надежности требованиям стандартов или технических условий. Методика контрольных испытаний на надежность, проводимых периодически, в самом общем случае должна содержать перечень показателей надежности, подлежащих контролю, а также следующие данные по каждому конкретному показателю надежности: приемочный и браковочный уровень; риск изготовителя и риск заказчика; число испытываемых образцов; время испытания каждого из них; допустимое число отказов; метод проведения испытаний; план испытаний; перечень параметров, характеризующих состояние ТО; условия испытаний (уровень воздействующих факторов и их значения, последовательность и продолжительность их воздействия и др.); решающее правило (приемка или отбраковка партии изделий).

При испытаниях устанавливается правило, которым руководствуются на каждой стадии эксперимента при принятии одного из трех возможных решений: принять основную гипотезу, принять конкурирующую гипотезу, продолжить испытания. Выбор трех критических областей при принятии решения основан на анализе последовательного критерия отношения правдоподобия.

## 5. Математический аппарат исследования надежности технических объектов

Поскольку расчёты надежности производятся главным образом на этапе проектирования, это позволяет выбрать наиболее подходящий вариант конструкции и методы обеспечения надежности, выявить «слабые места», обоснованно назначить рабочие режимы, форму и порядок обслуживания ТО.

Расчет надежности может состоять из следующих этапов:

1. Определение состава определяемых показателей надежности.
2. Выбор метода расчета надежности.
3. Составление математической модели.
4. Выполнение расчета, анализ полученных результатов, корректировка расчетной модели.

Весьма ответственной задачей является количественная оценка гипотезы о принадлежности результатов наблюдений к какому-либо закону распределения. Для принятия решения по этому вопросу служат критерии согласия, наиболее распространенные и эффективные из которых – критерии согласия Пирсона и Колмогорова. В общем случае методика определения полученного закона распределения исследуемой характеристики заключается в следующем.

1. Экспериментальным путем получают набор статистических данных, записывают их в виде вариационного ряда.
2. Экспериментальные данные наносятся на координатную сетку распределений (экспоненциального, нормального, Вейбулла и др.).
3. Определяют возможность линейной интерполяции экспериментальных данных.
4. Находят наибольшее отклонение от нее экспериментальных точек и проверяют по критерию согласия Колмогорова.

Моделирование на ЭВМ является наиболее эффективным средством анализа надежности сложных систем. Широко распространены два алгоритма моделирования: первый основан на моделировании физических процессов, происходящих в исследуемом объекте (оценка надежности при этом определяется по числу выходов параметров объекта за пределы допуска); второй основан на решении систем уравнений, описывающих состояния исследуемого объекта.

Анализ физико-химических процессов также позволяет получить оценку надежности исследуемого ТО, т.к. часто удаётся установить зависимость надежности от состояния и характера протекания физико-химических процессов (соотношение показателей прочности и нагрузки, износостойкость, наличие примесей в материалах, изменение электрических и магнитных характеристик, шумовые эффекты и т.д.).

### Практическая реализация задачи

Обработка результатов контрольных и определительных испытаний и расчет показателей надежности является достаточно сложной и трудоемкой задачей. Одним из способов предварительной разработки модели для облегчения визуализации структуры данных является построение функциональной диаграммы с обозначением внешних сущностей, потоков данных и обозначением всех основных процессов в AllFusion ERwin Data Modeler (рис. 3).

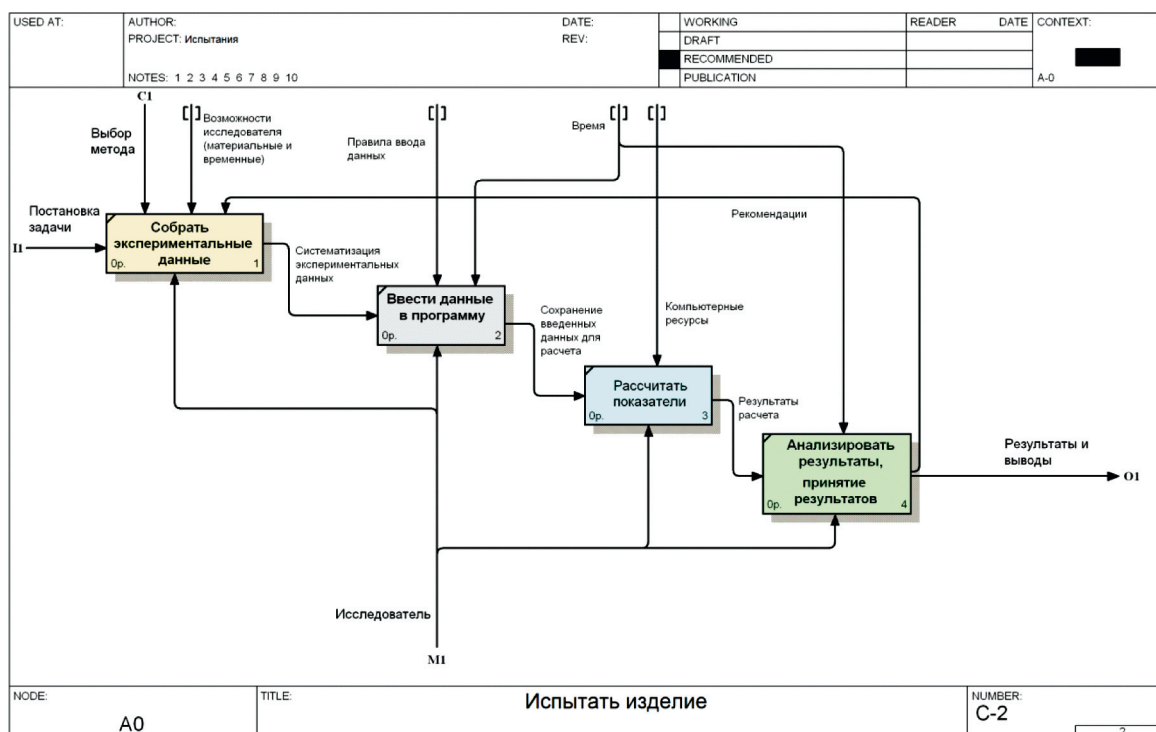


Рис. 3. Функциональная диаграмма

На базе данной диаграммы в среде быстрой разработки приложений Embarcadero RAD Studio XE3 была разработана программа «DeviceTest» для обработки и интерпретации результатов испытаний [5]. Программа позволяет выполнять исследования и расчеты следующих видов:

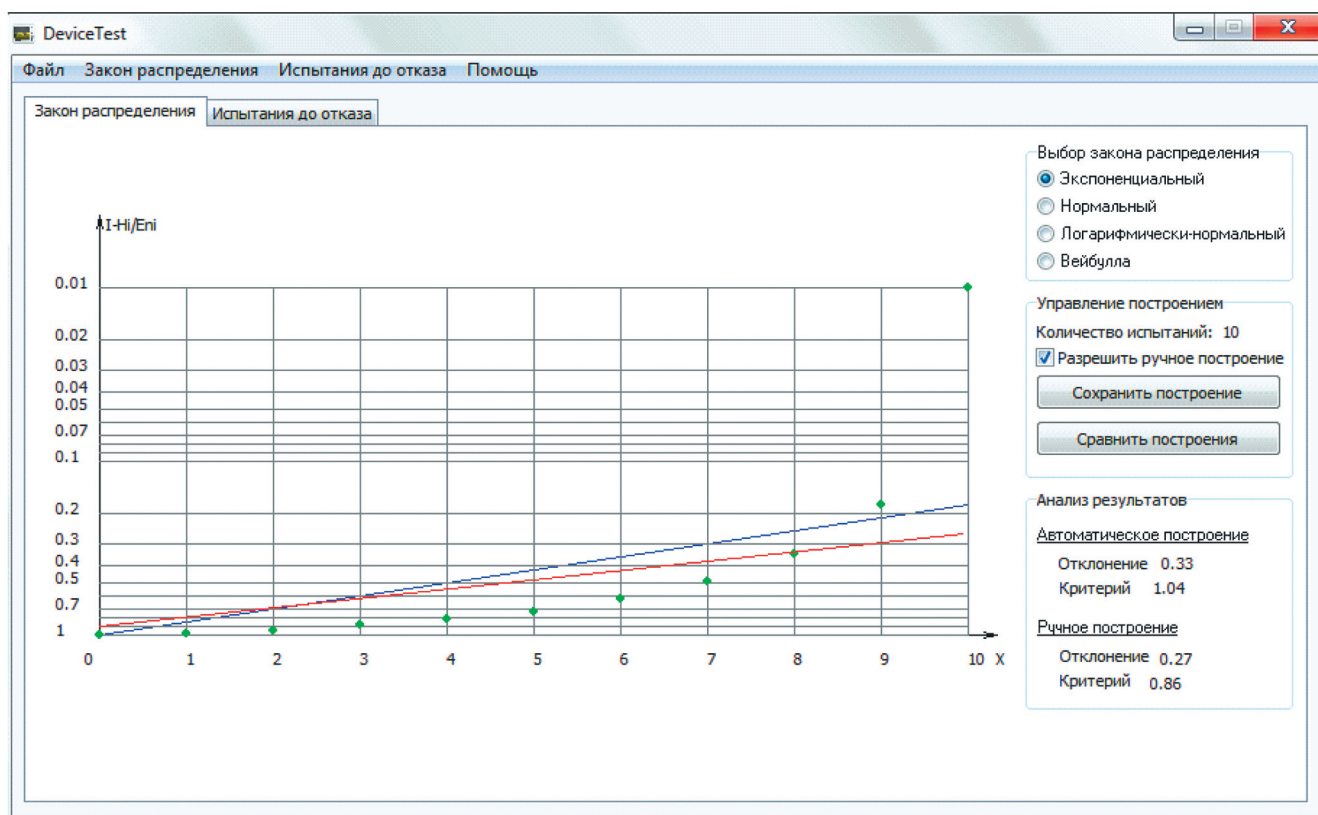


Рис. 4. Результат интерполяции (автоматического и ручного построения)  
для экспоненциального закона распределения

- проверять достаточность данных испытаний технических (и не только) объектов;
- определять вид закона распределения.

Для определения вида закона распределения нужно ввести количество произведенных испытаний и данные, полученные экспериментальным путем. После этого активизируется процесс интерполяции введенных данных применительно к первому виду закона распределения – экспоненциальному (рис. 4). Если автоматическая интерполяция не устраивает пользователя или критерий согласия Колмогорова не выполняется, то можно осуществить интерполяцию данных «вручную» (рис. 4).

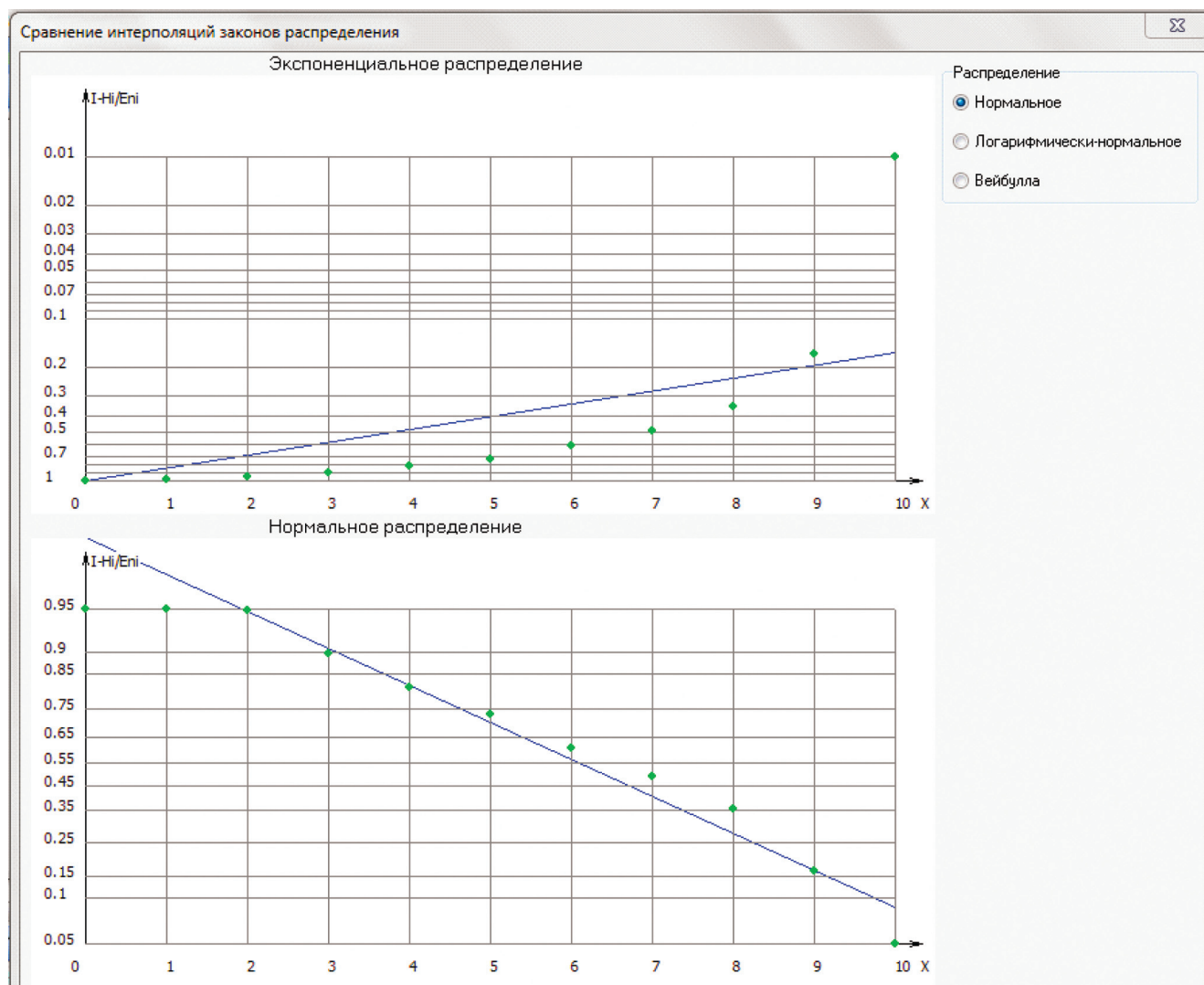


Рис. 5. Окно для сравнения результатов автоматической интерполяции данных

Результаты линейной интерполяции разными законами распределения можно сравнить для возможности субъективного выбора исследователем одного из них (рис. 5). После определения вида закона распределения можно решать многие задачи по оценке и анализу показателей надежности.

Для проверки достаточности результатов испытаний используются следующие исходные данные (рис. 6):

- риск поставщика  $\alpha$   ;
- риск заказчика  $\beta$   ;
- приемочное значение средней наработки на отказ  $T_\alpha$   ;
- браковочный уровень средней наработки на отказ  $T_\beta$   ;
- усечение результатов испытаний по количеству отказов  $m_{yc}$   ;
- усечение результатов испытаний по времени  $t_{yc}$   .

Кроме того, вводятся полученные экспериментально интересующие исследователя показатели (например, число отказов за период времени). Заранее принимают решение об усечении (ограничении) последовательного анализа. При этом методика предполагает одновременное испытание всех образцов с фиксацией отказов в моменты их возникновения. Параметры усечения  $m_{yc}$  и  $t_{yc}$  определяются по таблицам, приведенным в ГОСТ 27.410-83 или устанавливаются исследователем. После построения графика появляется информационное окно, в котором выводится сообщение о результатах построения плана последовательных испытаний (рис. 6).

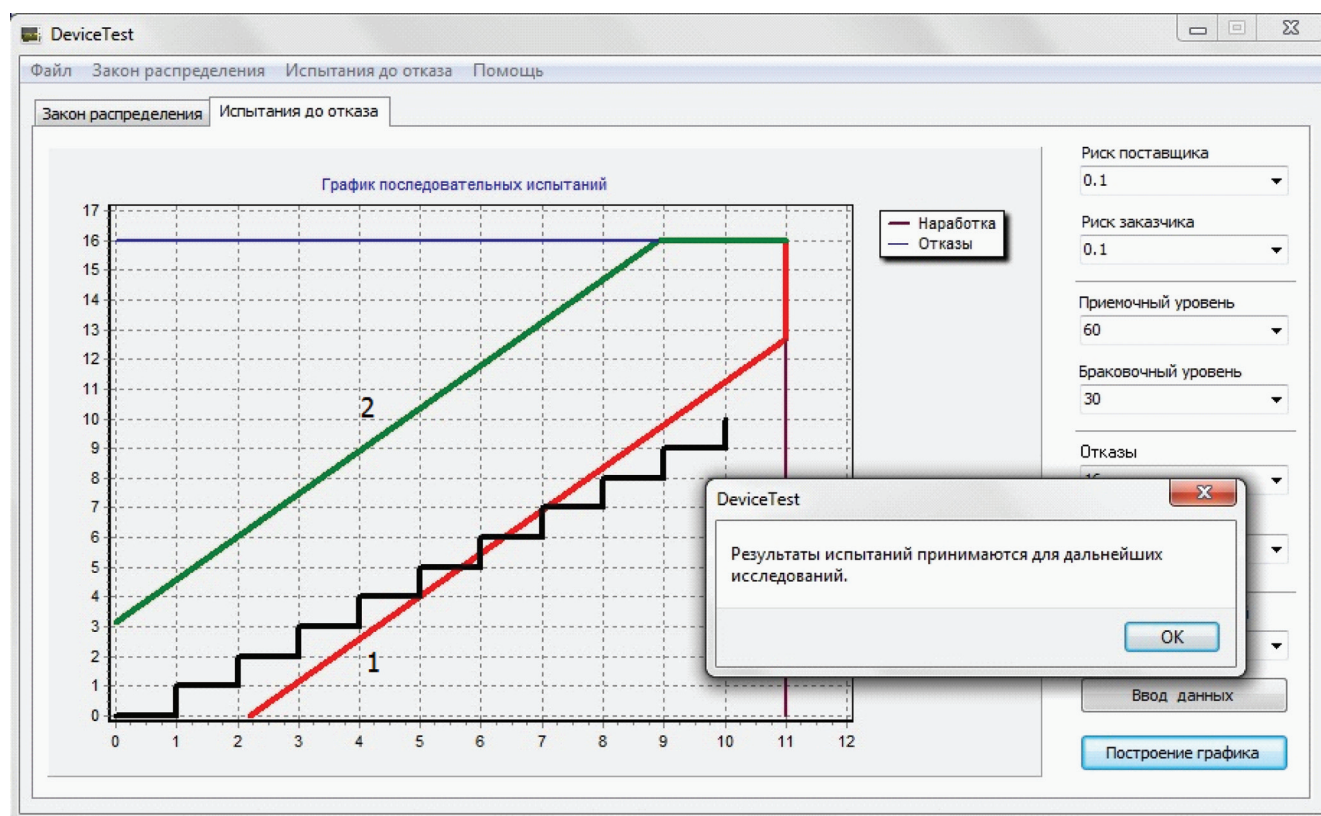


Рис. 6. Проверка достаточности данных хронометража последовательным методом  
1 – линия несоответствия; 2 – линия соответствия

## Литература

1. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем. – М.: Энергия, 1977. – 536 с.
2. Беляев Ю.К., Богатырев В.А., Болотин В.В. Надежность технических систем. – М.: Радио и связь, 1985. – 607 с.
3. Байнева И.И. Оценка эффективности и надежности светодиодных источников света. Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: Сб. науч. тр. VIII Междунар. науч.- техн. конф., Саранск: СВМО, 2010. С.11-13.
4. Байнева И.И., Байнев В.В. Оценка эффективности и надежности светодиодных источников света и приборов. Фотоника. 2011. Т.27, № 3. С.66-68.
5. Байнева И.И., Байнев В.В. Программа для определения уровня надежности технических объектов по результатам испытаний. Свидетельство на программу для ЭВМ №2012613210 Российская Федерация. Зарегистр. 05.04.2012.