

УДК 681.3(07)

С.В. Ленков<sup>1</sup>, С.А. Пашков<sup>1</sup>, К.Ф.Боряк<sup>2</sup>, В.Н. Цыцарев<sup>1</sup><sup>1</sup> Военный институт Киевского национального университета им. Тараса Шевченко, Киев<sup>2</sup> Одесская государственная академия технического регулирования и качества, Одесса

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И СТОИМОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ РЭТ

Приводится краткое описание программного обеспечения (ПО), предназначенного для прогнозирования показателей надежности (ПН) и стоимости эксплуатации (СЭ) восстанавливаемых объектов радиоэлектронной техники (РЭТ). ПО основано на применении имитационной статистической модели (ИСМ) процесса отказов-восстановлений объекта на заданном периоде его эксплуатации. Исходная информация о составе и структуре объекта, характеристиках комплектующих элементов и параметрах моделирования вводится и сохраняется в базе данных (БД). Предполагается, что объект РЭТ имеет иерархическую конструктивную структуру и последовательно-параллельную надежность структуру. В качестве ПН и СЭ вычисляются оценки средней наработки на отказ объекта, среднего времени восстановления, удельной стоимости эксплуатации и других показателей. ПО разработано в системе программирования Delphi, БД построена на основе СУБД IntraBase. Реализовано ПО в виде программы ISMPN, предназначенной для исполнения на платформе Windows XP.

**Ключевые слова:** программное обеспечение, имитационная статистическая модель, объекты радиоэлектронной техники.

### Введение

Под объектом РЭТ понимается любое техническое изделие (комплекс), в котором большую часть комплектующих элементов составляют изделия электронной техники (полупроводниковые приборы, микросхемы, электрические разъемы и т.п.). В составе объекта РЭТ имеются также механические, электромеханические, гидравлические и др. элементы (двигатели, приводы и т.д.). Типичными примерами объекта РЭТ могут служить радиолокационная станция, автоматизированная система управления и т.п.

Разработанное ПО (программа ISMPN) предназначено в основном для применения на этапах проектирования объекта, когда структура и состав объекта претерпевают постоянные изменения и уточнения, после которых требуется каждый раз пересчитывать ожидаемые уточненные оценки ПН и СЭ.

Программа ISMPN имеет различные режимы работы, из которых основными можно считать режимы «База данных» и «Моделирование». В режиме «База данных» осуществляется ввод-редактирование информации о структуре и составе объекта РЭТ. В режиме «Моделирование» запускается имитационная статистическая модель (ИСМ), с помощью которой получают оценки ПН и СЭ объекта. Помимо указанных двух режимов в программе ISMPN имеются и другие режимы работы, однако их рассмотрение не входит в предмет данной статьи. О других возможностях программы ISMPN можно ознакомиться в монографии [1]. Программа разработана в

системе программирования Delphi [2], база данных (БД) модели реализована как встроенная, построенная в форматах СУБД InterBase [3]. Выбор данной СУБД обусловлен наличием в среде Delphi большого числа удобных компонент для работы с этой БД.

Прежде чем мы перейдем к рассмотрению режимов работы ПО, необходимо вначале изложить некоторые исходные положения (понятия и ограничения), которые лежат в основе разработанного ПО. Это следующие положения:

1. Конструктивная структура объекта считается иерархической и представляется в модели графом (деревом), примерный вид которого показан на рис. 1.

На нижнем уровне иерархии располагаются все *простые* элементы (на рисунке обозначены кружками), которые рассматриваются как одно целое (внутренняя структура элементов в данном случае нас не интересует). В действительности простые элементы могут представлять собой весьма сложные технические изделия. Элементы более высоких конструктивных уровней являются *составными* (обозначены прямоугольниками) – в их состав входят другие элементы более низких конструктивных уровней.

На вершине иерархии (корень дерева) располагается объект в целом. Номер конструктивного уровня  $u$  (или иначе, уровень вложенности) отсчитывается сверху вниз. Максимальное значение уровня вложенности обозначим  $u_{\max}$  [4]. В программе допустимое значение  $u_{\max} = 6$  (этого обычно вполне достаточно на практике).

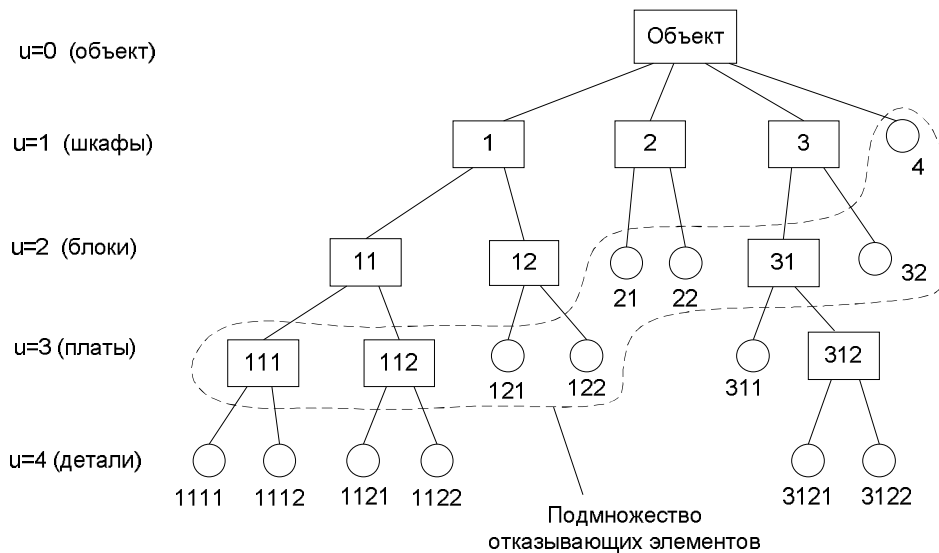


Рис. 1. Дерево конструктивной структуры объекта РЭТ

2. В модели важным понятием является *множество отказывающихся элементов* (обозначим его  $E_0$ ). Очевидно, что теоретически, отказывающимися являются все простые элементы. Их количество в реальном объекте РЭТ необозримо. Поэтому на практике (при расчетах надежности) определяется некоторое ограниченное число конструктивных элементов, которые определяют состояние работоспособности объекта. Но и это количество может оказываться весьма большим, приводящим к громоздким вычислениям и большим затратам машинного времени. Поэтому общая рекомендация состоит в том, чтобы, в множество  $E_0$  включить элементы, относящиеся, по возможности, к более высокому конструктивному уровню (меньшее значение  $u$ ) и требующие наименьшего времени для их замены. Рекомендуется в множество  $E_0$  включить в первую очередь все так называемые типовые элементы замены (ТЭЗы).

Множество  $E_0$  должно удовлетворять требованию *полноты*, которое заключается в том, что в него должны быть включены все элементы, отказы которых приводят к отказу объекта в целом. Полнота множества  $E_0$  обеспечивается программно. Множество  $E_0$  содержит в себе все элементы, входящие в структурную схему надежности объекта [7].

В программе ISMPN имитируются случайные отказы элементов, входящих в состав множества  $E_0$ .

После каждого отказа имитируется восстановление этих же элементов.

Для адекватности получаемых результатов моделирования необходимо, чтобы множество  $E_0$  совпадало с множеством восстанавливаемых элементов (то есть множеством элементов, которые с

наибольшей вероятностью будут заменяться в процессе эксплуатации).

3. Надежностная структура представляемого в модели объекта является последовательно-параллельной [5, 6]. Реализуется это следующим образом. Все элементы  $(u+1)$ -го уровня, входящие в состав некоторого элемента  $u$ -го уровня, считаются соединенными в смысле надежности последовательно. Каждый элемент любого конструктивного уровня может представлять собой группу однотипных элементов, соединенных параллельно или последовательно. Параллельное соединение (резервирование) может быть постоянным (нагруженным) или замещающим (ненагруженным). Тип структуры для каждого конструктивного элемента задается при вводе информации в БД модели.

4. В процессе моделирования случайная наработка до отказа элементов, принадлежащих множеству  $E_0$ , генерируется с помощью датчика случайных чисел, подчиненных диффузионному немонотонному (DN) распределению, которое является наиболее адекватным для элементов радиоэлектронной техники [8,9]. DN-распределение является двухпараметрическим, параметрами его являются  $T_{срi}$  - средняя наработка до отказа, и  $v_i$  - коэффициент вариации ( $i = \overline{1, |E_0|}$ ). Величины  $T_{срi}$  и  $v_i$  задаются в БД для каждого типа простого элемента. DN-распределение удобным является так же тем, что для него существуют простые формулы для преобразований его параметров при переходах от одиночного элемента к последовательным и параллельным структурам [9].

### Режим «База данных»

При запуске программы ISMPN последовательно открываются окна выбора и соединения с БД

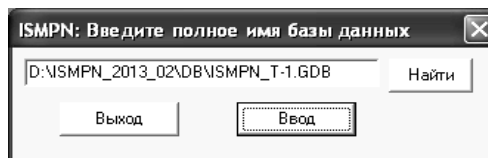
(рис. 2). Файл БД (имеет расширение .GDB) заранее создается и сохраняется определенном месте памяти ПК, например, в папке ISMPN.

После выбора БД (рис. 2, а) в окне соединения с БД (рис. 2, б) нужно ввести имя и пароль пользователя, создававшего БД.

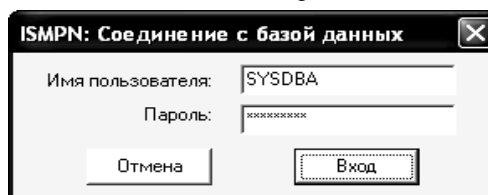
В СУБД InterBase по умолчанию как исходные приняты имя пользователя SYSDBA и пароль masterkey [3].

После установления соединения с БД откроется окно главного меню программы ISMPN (рис. 3).

После выбора в главном меню режима «База данных» откроется окно, вид которого показан на рис. 4.



а – окно выбора БД



б – окно соединения с БД

Рис. 2. Окна выбора и соединения с БД

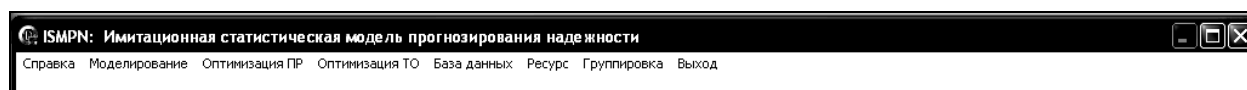


Рис. 3. Главное меню программы ISMPN

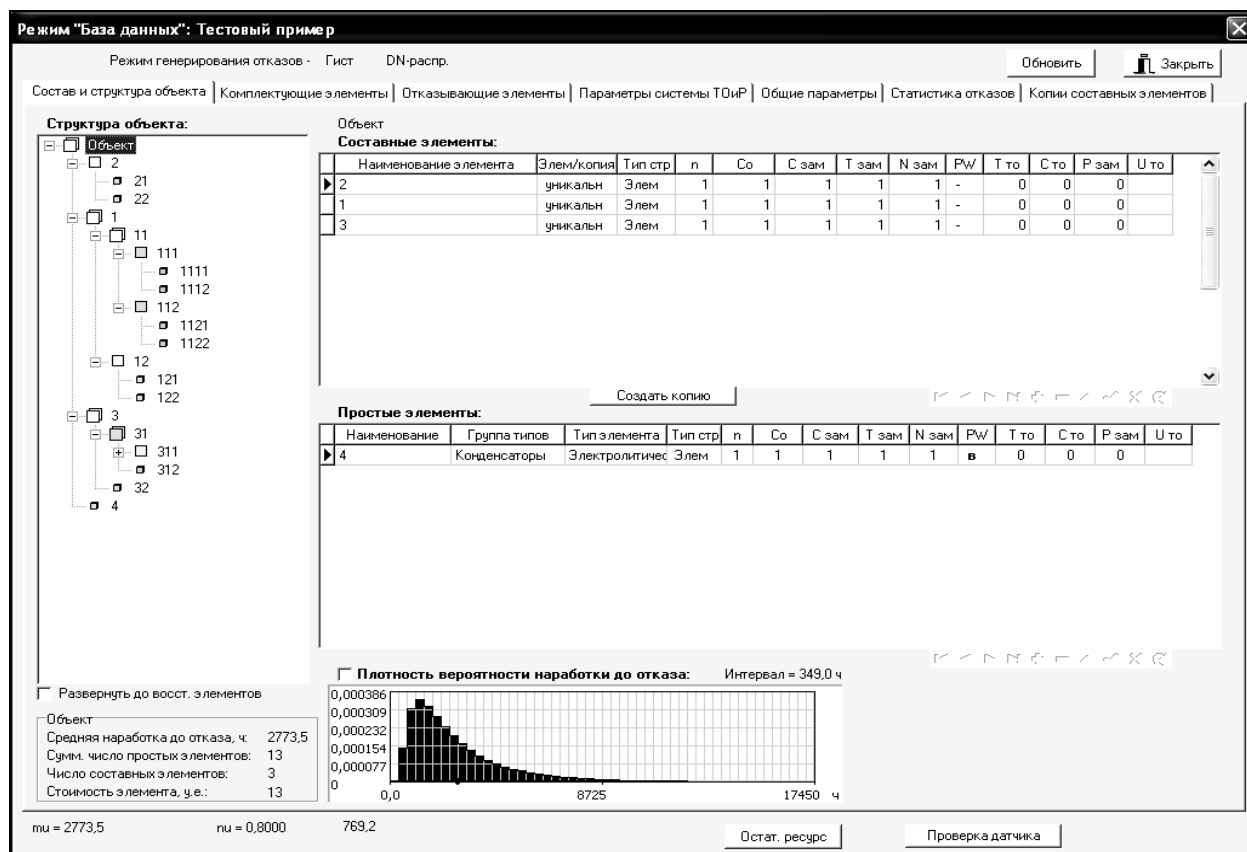


Рис. 4. Вид экрана ПК в режиме «База данных» (Состав и структура объекта)

На вкладке **Состав и структура объекта** в левой части экрана отображается дерево конструктивной структуры объекта. На рис. 4 показана картинка для тестового примера, конструктивная структура которого изображена на рис. 1. Дерево сразу разворачивается до уровня отказывающихся элементов. Щелчком мыши можно свернуть или развернуть внутреннюю структуру любого из элементов объекта. Справа расположены две таблицы, в которых

отображается информация о составе выбранного элемента. В верхней таблице отображаются данные о составных элементах, входящих в состав выбранного элемента, в нижней таблице – такие же данные о простых элементах, непосредственно входящих в состав этого же элемента. С помощью таблиц осуществляется ввод/редактирование соответствующих данных, в том числе добавление и удаление элементов. Содержание столбцов таблиц следующее:

Наименование элемента;  
 Элем/копия - элемент или копия элемента;  
 Тип стр – тип структуры элемента;  
 n – число элементов в группе;  
 $C_0$  – стоимость элемента;  
 $C_{\text{зам}}$  – стоимость операции замены (у.е.);  
 $T_{\text{зам}}$  – продолжительность операции замены (ч);  
 $N_{\text{зам}}$  – предельно допустимое количество замен;  
 PW – признак восстановления;  
 $T_{\text{то}}$  – продолжительность операции ТО (ч);  
 $C_{\text{то}}$  – стоимость операции ТО (у.е.);  
 $P_{\text{зам}}$  – вероятность замены при проведении ТО;  
 $U_{\text{то}}$  – пороговое значение для определяющего параметра (только для ТО по состоянию).

Дополнительно поясним содержание некоторых данных, которое может быть не ясно из их наименования.

Для составных элементов имеется возможность создания копий (для того чтобы повторно не вводить всю относящуюся к ним информацию). В столбце

Элем/копия указывается, данный элемент является уникальным или копией, которая выбрана из списка созданных ранее копий (рис. 5, а).

В столбце Тип стр задается тип структуры данного элемента.

Ввод этого признака производится так же путем выбора из выпадающего списка (рис. 5, б).

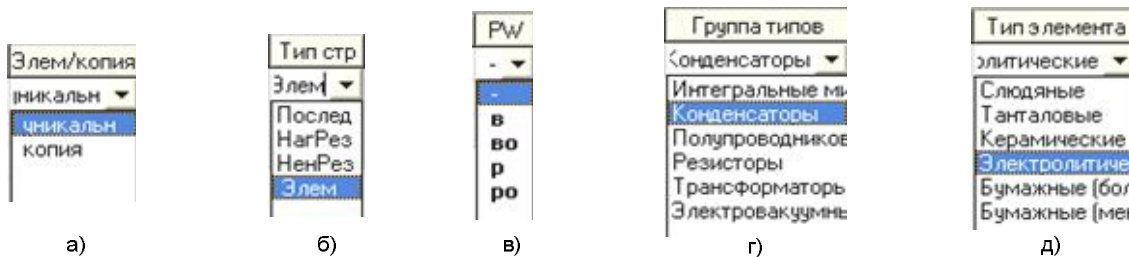


Рис. 5. Ввод данных из выпадающих списков

Признак PW может принимать следующие значения: «-» – элемент старшего уровня, не включаемый в множество отказывающихся (восстанавливаемых) элементов  $E_0$ ; **в** – восстанавливаемый элемент; **во** – восстанавливаемый и обслуживаемый; **р** – восстанавливаемый в ремонтном органе; **ро** – восстанавливаемый и обслуживаемый в ремонтном органе (рис. 5, в). Все элементы, для которых в столбце PW установлено значение, отличное от «-», включаются в множество отказывающихся элементов  $E_0$ .

В таблицу для простых элементов (см. рис. 4) вводятся такие же данные, за исключением столбцов Группа типов и Тип элемента (рис. 5, г, д). Перечни групп типов и типов элементов (которые включаются в соответствующие выпадающие списки) создаются отдельно на вкладке **Комплекующие элементы**.

Рассматривать работу с данными на других вкладках мы не будем из-за ограниченного размера статьи полагая, что приведенной информации достаточно для понимания заложенной в модели идеи прогнозирования ПН и СЭ.

### Режим «Моделирование»

При выборе в главном меню режима «Моделирование» открывается окно, в котором задаются параметры и условия моделирования (рис. 6). По умолчанию задаются их последние значения, сохранившиеся в БД.

Параметр Продолжительность эксплуатации задает интервал времени, в течение которого будут моделироваться отказы-восстановления объекта, и по которым в процессе моделирования будет накапливаться статистика, необходимая для вычисления оценок прогнозируемых ПН и СЭ. Параметр Интервал дискретности ... определяет размер интервалов, в которых накапливается статистика для определения оценок точечных значений функции параметра потока отказов. Все время моделирования разбито на циклы, в пределах которых определяются оценки ПН и СЭ.

Под *итерацией моделирования* понимается моделирование процесса отказов-восстановлений объекта в течение заданной продолжительности эксплуатации. Задавая различные значения числа итераций и циклов моделирования, пользователь имеет возможность находить компромисс между достигаемой точностью результатов моделирования и продолжительностью моделирования (затратами машинного времени).

Параметр Требуемое значение средней наработки на отказ используется только в режимах работы программы, в которых производится решение различных задач оптимизации. Эти задачи в рамках данной статьи не рассматриваются.

Для запуска процесса моделирования необходимо нажать (щелчком мыши) кнопку **Начать**.

После завершения моделирования на экране ПК отобразится форма, вид которой показан на рис. 7.

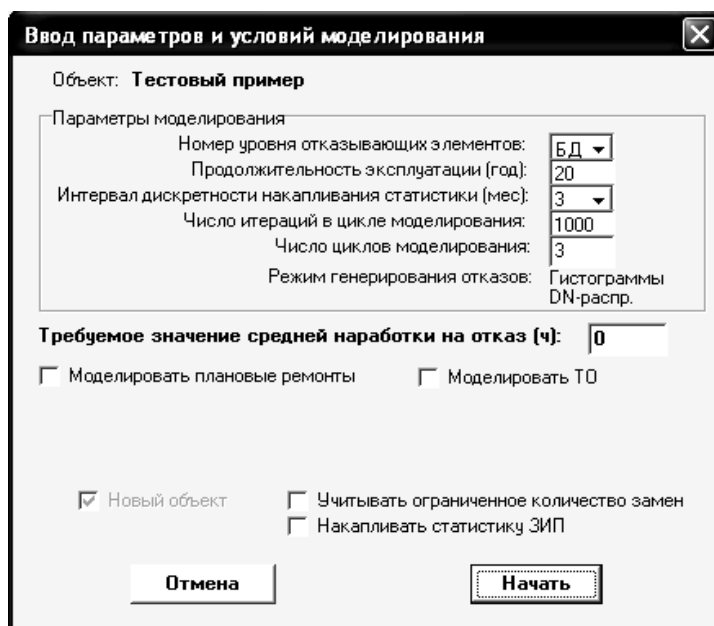


Рис. 6. Вид окна ввода параметров и условий моделирования

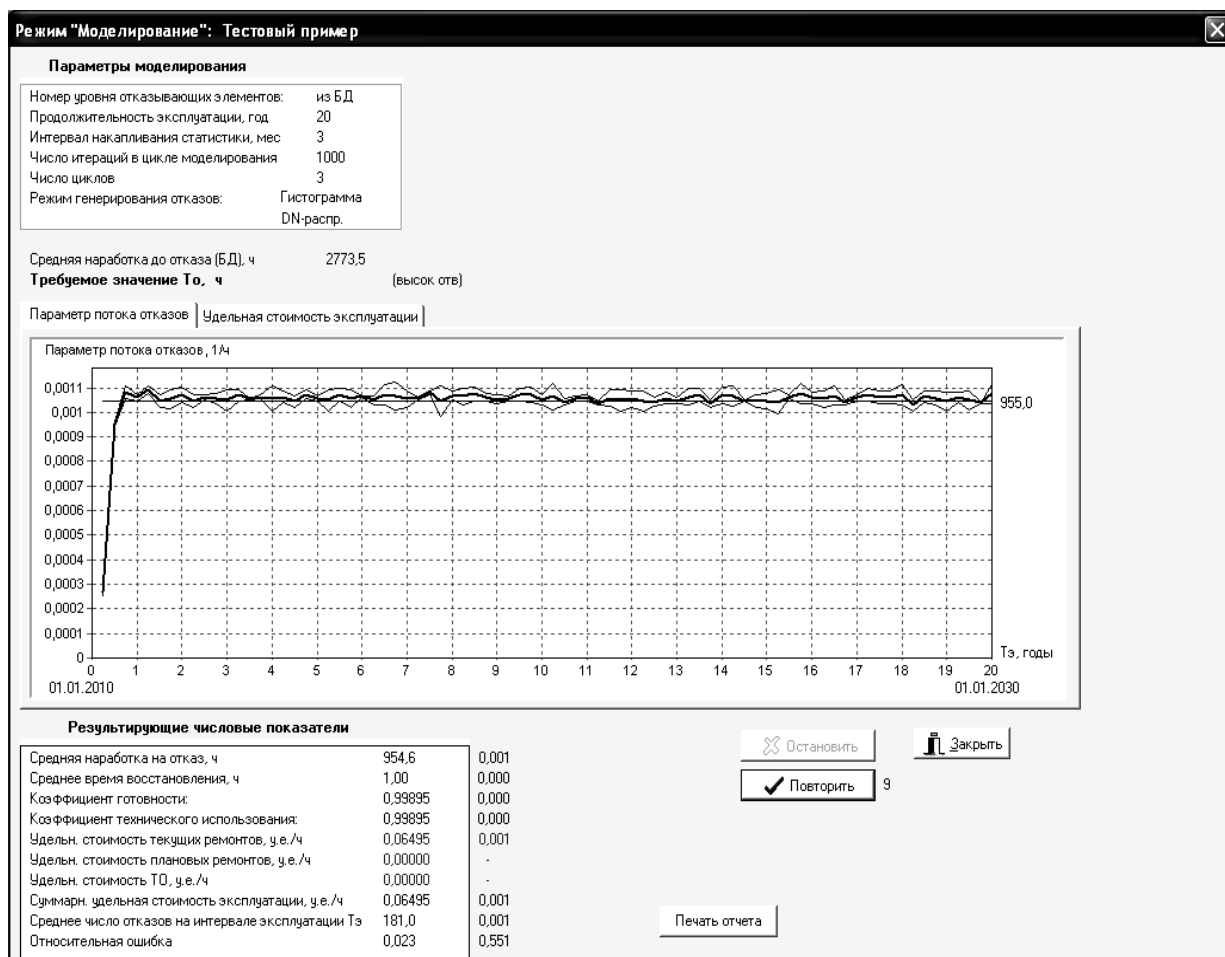


Рис. 7. Вид экрана ПК после завершения моделирования

Результатами моделирования являются оценки следующих показателей:

$\omega(t_i)$  – функция параметра потока отказов объекта ( $t_i = i \cdot \Delta t$ , где  $\Delta t$  – заданный интервал дис-

кретности;  $i$  – номер интервала). График функции отображается в центральной части экрана;

$T_0$  – средняя наработка на отказ объекта;

$T_B$  – среднее время восстановления;

$K_r$  – коефіцієнт готовності;  
 $K_{ти}$  – коефіцієнт технічного використання;  
 $c_э$  – удельная стоимость эксплуатации (также отображаются ее составляющие, приходящиеся на текущий и плановый ремонт и на техническое обслуживание).

Помимо этих показателей определяется оценка среднего числа отказов объекта  $\bar{p}_{отк}$ , ожидаемых в течение заданной продолжительности его эксплуатации, и относительная ошибка этой оценки  $\varepsilon$  (определяемая как 95%-й доверительный интервал для оценки  $\bar{p}_{отк}$ ). Очевидно, что ошибку  $\varepsilon$  можно распространить на все определяемые в результате моделирования показатели.

### Выводы

Рассмотренное ПО (программа ISMPN) является удобным инструментом анализа надежности объекта РЭТ на всех стадиях его разработки и при эксплуатации объекта. В модели, положенной в основу данного ПО, детально учитывается конструктивная структура объекта, что позволяет оценивать по результатам моделирования влияние на ПН и СЭ тех или иных конструкторских решений, осуществлять выбор между этими решениями.

### Список литературы

1. Прогнозирование надежности сложных объектов радиоэлектронной техники и оптимизация параметров их

технической эксплуатации с использованием имитационных статистических моделей: Монография / С.В. Ленков, К.Ф. Боряк, Г.В. Банзак, В.О. Браун [и др. : под ред. С.В. Ленкова. – Одесса: Изд-во «ВМВ», 2014. – 256 с.

2. Дарахвелидзе П.Г. Программирование в Delphi 7 / П.Г. Дарахвелидзе, Е.П. Марков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 784 с.

3. Ковязин А. Мир InterBase. Архитектура, администрирование и разработка приложений баз данных в InterBase/Firebird/Yaffil / А. Ковязин, С. Востриков. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2002. – 496 с.

4. О влиянии конструктивной структуры восстанавливаемого объекта на его показатели надежности / С.В. Ленков, С.А. Пашков, В.А. Осыпа, В.Н. Цыцарев // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2014. – Вип. 2(39). – С. 127-131.

5. Применение имитационной статистической модели для надежно-стоимостного анализа сложных объектов РЭТ при их проектировании / С.В. Ленков, О.В. Банзак, В.А. Цыцарев, Л.В. Солодеева // Системи озброєння і військова техніка. – 2014. – № 3(39). – С. 114-119.

6. Имитационная статистическая модель процесса отказов резервированных радиоэлектронных систем / С.В. Ленков, В.О. Браун, С.А. Пашков, В.Н. Цыцарев // Сучасна спеціальна техніка. – К., 2014. – № 4(39). – С. 13-23.

7. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. Введ. 01.01.1997.

8. ГОСТ 27.005-97. Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения. – Введ. 01.01.99. – 45 с.

9. Стрельников В.П. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем / В.П. Стрельников, А.В. Федухин. – К.: Логос, 2002. – 486 с.

Поступила в редколлегию 8.06.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Барабаш, Государственный университет телекоммуникаций, Киев.

### ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ТА ВАРТОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІДНОВЛЮВАНИХ ОБ'ЄКТІВ РЕТ

С.В. Ленков, С.О. Пашков, К.Ф.Боряк, В.М. Цицарев

Приводиться короткий опис програмного забезпечення (ПО), призначеного для прогнозування показників надійності (ПН) і вартості експлуатації (ВЕ) відновлюваних об'єктів радіоелектронної техніки (РЕТ). ПО засновано на вжитті імітаційної статистичної моделі (ІСМ) процесу відмовлень об'єкту на заданому періоді його експлуатації. Вихідна інформація про склад і структуру об'єкту, характеристики комплектуючих елементів і параметри моделювання вводиться і зберігається в базі даних (БД). Передбачається, що об'єкт РЕТ має ієрархічну конструктивну структуру і послідовно-паралельну надійну структуру. Як ПН і ВЕ обчислюються оцінки середнього напрацювання на відмову об'єкту, середнього часу відновлення, питомої вартості експлуатації та інших показників. ПО розроблено в системі програмування Delphi, БД побудована на основі СУБД Intrbase. Реалізовано ПО у вигляді програми ISMPN, призначеної для виконання на платформі Windows XP.

**Ключові слова:** програмне забезпечення, імітаційна статистична модель, об'єкти радіоелектронної техніки.

### SOFTWARE FOR PROGNOSTICATION OF RELIABILITY AND RUNNING OF REFURBISHABLE OBJECTS OF RET COST INDEXES

S.V. Lenkov, S.A. Pachkov, K.F. Boryk, V.N. Sycarev

Short-story description over of software (SOFTWARE), intended for prognostication of reliability (PN) and running (SE) of refurbishable objects of radio-electronic technique cost indexes is brought (RET). SOFTWARE is based on application of simulation statistical model (ISM) of process of refuses-renewals of object on the set period of his exploitation. Initial information about composition and structure of object, descriptions of stuff elements and design parameters is entered and saved in a database (DB). It is assumed that the object of RET has a hierarchical structural structure and successive-parallel reliable structure. As PN and SE the estimations of middle work are calculated on the refuse of object, mean time of renewal, specific running and other indexes cost. SOFTWARE is developed in the system of programming of Delphi, DB is built on the basis of SUBD of Intrbase. Realizova-but SOFTWARE as a program ISMPN, intended for execution on the platform of Windows XP.

**Keywords:** software, simulation statistical model, objects of radio-electronic technique.