Литература

1. Glossary of Nuclear Power Plant Ageing, OECD/NEA, 2008.
2. Методология управления старением компонентов атомных электростанций, важных для безопасности// Серия технических докладов №338. – Вена: МАГАТЭ. –1992. –38 с.
3. Положение о порядке продления срока эксплуатации оборудования систем, важных для безопасности: Пл-д.0.03.126-10. – Киев, – НАЭК «Энергоатом». – 2010. – 32 с. (Нормативный документ ГП НАЭК «Энергоатом». Положение).
4. Требования к порядку и содержанию работ для продления срока эксплуатации информационных и управляющих систем, важных для безопасности атомных электростанций: НП.306.5.02/2.068-2003. (Нормативный документ ГП НАЭК «Энергоатом». Требования).
5. Техническое обслуживание устройств релейной защиты, противоаварийной автоматики, электроавтоматики, дистанционного управления и сигнализации электростанций и подстанций 110-750 кВ: ГКД 34.35.604-96. (Нормативный документ ГП НАЭК «Энергоатом»).
6. Отраслевой обобщенный отчет по надежности оборудования энергоблоков АЭС за 2008 год. – Киев, – НАЭК «Энергоатом». – 2009. – 113 с.
7. Макаров, І.М. Теорія вибору і прийняття рішень: Навчальн. посібник [Текст] / І.М. Макаров, Т.М. Виноградська, А.А. Рубчинський, В.Б. Соколов. – М.: Наука, 1982. – 328 с.
8. Лапа, М.В. Сучасні моделі процесів прийняття управлінських рішень. Навч.-метод. посібник. [Текст]/ М.В. Лапа// Чернігів: ЦППК працівників органів держ. влади, органів місцевого самоврядування, держ. підприємств, установ і організацій. – 2008. – 79 с.

УДК 004.67:519.257

КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ РЕСУРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ

К.Н. Маловик
Кандидат технических наук, доцент, профессор, руководитель института
Институт нанотехнологий, информационно-измерительных и специализированных компьютерных систем в энергетике
Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности
ул. Курчатова, 7, г. Севастополь, Украина, 99015
Контактный тел.: (0692) 71-01-80,
E-mail: tmp2@sinp.com.ua

И.А. Скатков
Кандидат технических наук, доцент
Кафедра автоматизированных приборных систем
Севастопольский национальный технический университет
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053
Контактный тел.: (0692) 49-63-17
E-mail: skatkov@ua.fm

Розроблено методику проведення кореляційно-регресійного аналізу ресурсних характеристик складних виробів. Підхід, що пропонується, проілюстровано прикладом

Ключові слова: кореляційно-регресійний аналіз, ресурсні характеристики

Разработана методика корреляционно-регрессионного анализа ресурсных характеристик сложных изделий. Предлагаемый подход проиллюстрирован примером

Ключевые слова: корреляционно-регрессионный анализ, ресурсные характеристики

The method of cross-correlation-regressive analysis of resource descriptions of difficult wares is developed. Offered approach illustrated by an example

Keywords: correlative regression analysis, resource characteristics

1. Введение

Известны ресурсные характеристики, определяющие наступление предельных состояний сложных изделий при исследовании их долговечности [1]. Под сложным изделием можно понимать оборудование энергоблоков атомных станций, комплексов металлургических и машиностроительных предприятий, установок тепловой энергетики и нефтегазопроводов. Такие изделия являются, как правило, уникальными и высоконадежными и поэтому при их эксплуатации наибольший интерес представляет прогнозирование их индивидуального остаточного ресурса [2]. Анализ ресурсных характеристик сложных изделий при неоднородном потоке их отказов показан в работе [3]. В тоже время известные причины несоответствия ожидаемых и фактических ресурсных характеристик [1], предопределяют целесообразность совершенствования и дальнейшего развития методов как прямого, так и обратного прогнозирования ресурсоспособности сложных изделий.

В процессе эксплуатации сложных изделий длительное воздействие различных факторов может приводить к накоплению повреждений, развитию дефектов и другим нежелательным эффектам деградации, а следовательно изменению показателей долговечности. В настоящее время отсутствуют статистические и эксплуатационные данные по показателям долговечности многих сложных изделий, а опытные данные требуют аппроксимации их аналитическими выражениями. Такие выражения необходимы как для задач прогнозирования долговечности, так и для проведения различных аналитических исследований. При отсутствии опытных данных по долговечности особое значение приобретают применение имитационного моделирования и создание специализированных инструментальных средств, что особенно важно на этапе проектирования сложных изделий.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Вопросы анализа ресурсных характеристик сложных объектов рассматриваются в работах [1-6]. Одновременно следует отметить, что кроме указанной литературы следует анализировать данные нормативно-технической и методической базы по вопросам надежности и безопасности сложных изделий, например [7,8].

Данная работа, в рамках концепции оценивания и прогнозирования ресурса сложных изделий, базируется на следующих принципах:

1. Принцип сохранения физической сущности процессов при прогнозировании ресурса, т.е. задача прогнозирования ресурса должна базироваться на постулате К.Шеннона: основные закономерности, наблюдавшиеся в прошлом, будут сохранены в будущем.

2. Принцип сочетания детерминированных и вероятностных подходов к оценке и прогнозированию ресурса, т.е. необходимо использовать системный подход и системный анализ.

3. Принцип прогнозирования индивидуального ресурса, связанный с разработкой и применением математического и программного обеспечения, учитывающих особенности эксплуатации конкретных объектов, в отличие от их генеральной совокупности на стадии проектирования.

Тогда, учитывая материалы работ [3,9], для исследования ресурсоспособности сложных изделий предложено использовать ресурсные характеристики, которые как случайные величины, характеризуются средними значениями и дисперсиями, качественные оценки которых показаны на рис. 1, где обозначено:

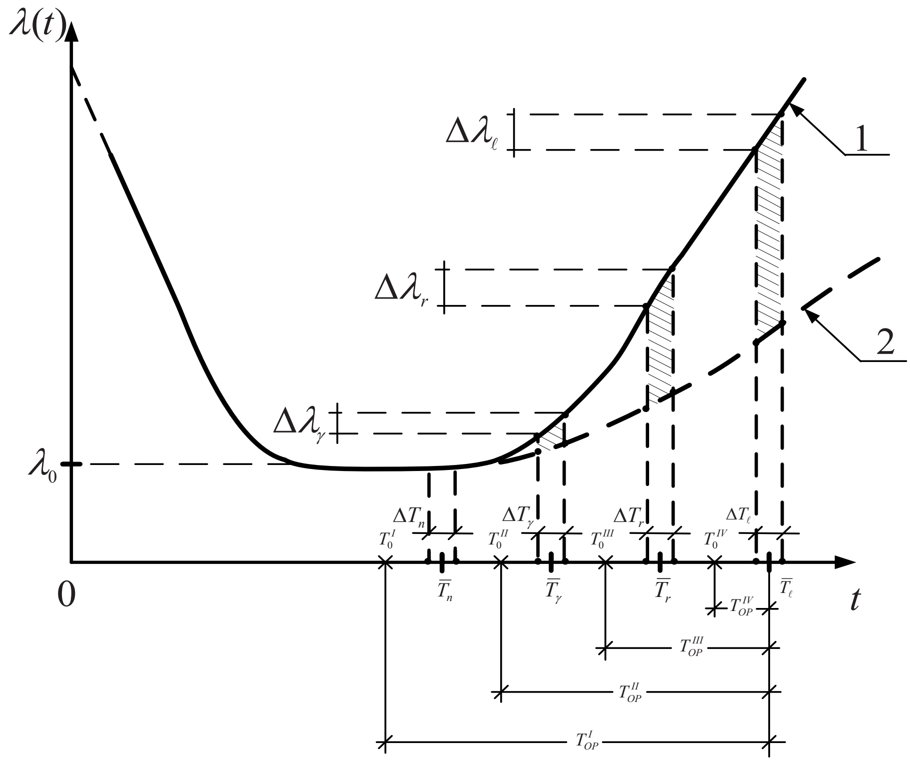

Рис. 1. Схема значений определяющих ресурсных характеристик

$\overline{T}_n$ – назначенный ресурс и его допустимые отклонения ΔT_n;

$\overline{T}_\gamma$ – γ - процентный ресурс и его допустимые отклонения;

$\overline{T}_r$ – технический ресурс и его допустимые отклонения ΔT_r;

$\overline{T}_\ell$ – время предельного состояния и его допустимые отклонения ΔT_ℓ;

$\lambda(t)$ – интенсивность отказов и ее соответствующие отклонения $\Delta\lambda_\iota$, $\Delta\lambda_r$ $\Delta\lambda_\gamma$, которые используются на этапе проектирования сложных изделий;

$\lambda_0 = \mathrm{const}$ – интенсивность отказов, соответствующая установившемуся значению;

1,2 – линии, характеризующие пессимистический и оптимистический прогноз поведения $\lambda(t)$;

$T_0^{I} \div T_0^{IV}$ – точка оценки остаточного ресурса, величина которого имеет вид:

$$\begin{aligned} T_{OP}^{I} &= T_\ell - T_0^{I} \\ T_{OP}^{II} &= T_\ell - T_0^{II} \\ T_{OP}^{III} &= T_\ell - T_0^{III}, \\ T_{OP}^{IV} &= T_\ell - T_0^{IV} \end{aligned} \qquad (1)$$

3. Цель и задачи исследования

Целью исследования является разработка методики прямого прогнозирования остаточного ресурса сложных изделий на основе корреляционно-регрессионного анализа их ресурсных характеристик.

Для решения задачи прогнозирования остаточного ресурса для точек оценки $T_0^{I} \div T_0^{IV}$ необходимо найти зависимость оценки T_ℓ как результирующей переменной от T_n, T_γ, T_r, которые в данном случае являются факторными переменными, выявить и обосновать выбор ресурсных характеристик.

4. Методика корреляционно-регрессионного анализа

Факторные переменные, в соответствии с изложенным выше принципом Шеннона, имеют значительные взаимозависимости. Это означает, что построение многомерной регрессионной функции не целесообразно, поскольку одна из основных предпосылок регрессионного анализа состоит в том, что факторы должны быть взаимонезависимыми, если это условие не соблюдается, то целесообразно уменьшить размерность факторного пространства. Для этого предлагается следующий подход — кроме матрицы парных коэффициентов корреляции необходимо найти частные коэффициенты корреляции, которые используются для оценки зависимости между результативной переменной и одной из факторных переменных при условии постоянства всех остальных факторных переменных, включённых в модель множественной линейной регрессии [10]. Таким образом, частный коэффициент корреляции позволяет элиминировать влияние на результат всех факторных переменных кроме одной. Поскольку факторных переменных три, то необходимо найти частные коэффициенты корреляции второго порядка. Одномерная регрессионная функция строится от наиболее значимого фактора, который определяется по максимуму частных коэффициентов корреляции. В дальнейшем наиболее значимый фактор будем обозначать T^*. Тогда регрессионное уравнение примет вид:

$$T_\ell = a_1 + a_2 \cdot T^*, \qquad (2)$$

где a_1, a_2 – искомые параметры регрессионной функции, параметр сдвига и параметр наклона прямой.

Оценка коэффициента корреляции, вычисленная по ограниченной выборке, практически всегда отличается от нуля. Но из этого еще не следует, что коэффициент корреляции генеральной совокупности также отличен от нуля. Поэтому требуется оценить значимость выборочной величины коэффициента корреляции или, в соответствии с постановкой задач проверки статистических гипотез, проверить гипотезу о равенстве нулю коэффициента корреляции. Если гипотеза H_0 о равенстве нулю коэффициента корреляции будет отвергнута, то выборочный коэффициент значим, а соответствующие величины связаны линейным соотношением. Если гипотеза H_0 будет принята, то оценка коэффициента не значима, то, по имеющимся данным эта взаимосвязь не установлена. Проверка гипотезы о значимости оценки коэффициента корреляции требует знания распределения случайной величины. Распределение величины r_{xy} изучено только для частного случая, когда случайные величины X и Y распределены по нормальному закону.[10]

Для проверки гипотезы H_0 используется статистика:

$$t = r_{x,y} \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{x,y}^2}}, \qquad (3)$$

которая при справедливости гипотезы имеет в качестве предельного распределение Стьюдента с n-2 степенями свободы [10].

Как следует из вышеизложенного, прямой прогноз остаточного ресурса проводится в три этапа:

– определяется ресурсная характеристика T^*, имеющая максимальную связь с величиной T_l;

– по оценкам ресурсных характеристик сложных изделий строится регрессионная функция (1);

– с помощью построенной регрессионной функции определяется остаточный ресурс сложных изделий.

Учитывая вышесказанное, разработана методика корреляционно-регрессионного анализа ресурсных характеристик сложных изделий, которая состоит из следующих шагов:

1. Техническими требованиями устанавливаются определяющие ресурсные характеристики $\overline{T}_n$, $\overline{T}_r$, $\overline{T}_\gamma$ (на этапе проектирования, используя опытные данные по временам отказов при длительной эксплуатации аналогичных изделий).

2. Заказчиком задается $\overline{T}_\ell$ (предварительно).

3. Предусмотрено четыре режима контроля или наблюдений:

$$T_0^{I} < T_n;$$

$$T_n < T_0^{II} < T_\gamma;$$

$$T_\gamma < T_0^{III} < T_r;$$

$$T_r < T_0^{IV} < T_\ell,$$

в которых задаются оценки остаточного ресурса T_{0_i}, где $i = \overline{1,k}$ – индекс точки оценки.

4. В точках оценки остаточного ресурса определяются оценки ресурсных характеристик $T_{n_{ij}}$, $T_{\gamma_{ij}}$, $T_{r_{ij}}$, $T_{\ell_{ij}}$, где $j = \overline{1,m}$ – индекс их оценки.

5. Формируются матрицы наблюдений из $k \cdot m$ строк и пяти столбцов для указанных в п. 3 режимов:

$$
T^{I}=\begin{array}{|c|c|c|c|c|}
\hline
T_{01} & T_{n_{11}} & T_{\gamma_{11}} & T_{r_{11}} & T_{\ell_{11}}\\ \hline
T_{01} & T_{n_{12}} & T_{\gamma_{12}} & T_{r_{12}} & T_{\ell_{12}}\\ \hline
\bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet\\ \hline
T_{01} & T_{n_{1m}} & T_{\gamma_{1m}} & T_{r_{1m}} & T_{\ell_{1m}}\\ \hline
T_{02} & T_{n_{21}} & T_{\gamma_{21}} & T_{r_{21}} & T_{\ell_{21}}\\ \hline
\bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet\\ \hline
T_{0k} & T_{n_{km-1}} & T_{\gamma_{km-1}} & T_{r_{km-1}} & T_{\ell_{km-1}}\\ \hline
T_{0k} & T_{n_{km}} & T_{\gamma_{km}} & T_{r_{km}} & T_{\ell_{km}}\\ \hline
\end{array}
\quad
T^{II}=\begin{array}{|c|c|c|c|c|}
\hline
T_{n_{11}} & T_{01} & T_{\gamma_{11}} & T_{r_{11}} & T_{\ell_{11}}\\ \hline
T_{n_{12}} & T_{01} & T_{\gamma_{12}} & T_{r_{12}} & T_{\ell_{12}}\\ \hline
\bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet\\ \hline
T_{n_{1m}} & T_{01} & T_{\gamma_{1m}} & T_{r_{1m}} & T_{\ell_{1m}}\\ \hline
T_{n_{21}} & T_{02} & T_{\gamma_{21}} & T_{r_{21}} & T_{\ell_{21}}\\ \hline
\bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet\\ \hline
T_{n_{km-1}} & T_{0k} & T_{\gamma_{km-1}} & T_{r_{km-1}} & T_{\ell_{km-1}}\\ \hline
T_{n_{km}} & T_{0k} & T_{\gamma_{km}} & T_{r_{km}} & T_{\ell_{km}}\\ \hline
\end{array}
$$

$$
T^{III}=\begin{array}{|c|c|c|c|c|}
\hline
T_{n_{11}} & T_{\gamma_{11}} & T_{01} & T_{r_{11}} & T_{\ell_{11}}\\ \hline
T_{n_{12}} & T_{\gamma_{12}} & T_{01} & T_{r_{12}} & T_{\ell_{12}}\\ \hline
\bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet\\ \hline
T_{n_{1m}} & T_{\gamma_{1m}} & T_{01} & T_{r_{1m}} & T_{\ell_{1m}}\\ \hline
T_{n_{21}} & T_{\gamma_{21}} & T_{02} & T_{r_{21}} & T_{\ell_{21}}\\ \hline
\bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet\\ \hline
T_{n_{km-1}} & T_{\gamma_{km-1}} & T_{0k} & T_{r_{km-1}} & T_{\ell_{km-1}}\\ \hline
T_{n_{km}} & T_{\gamma_{km}} & T_{0k} & T_{r_{km}} & T_{\ell_{km}}\\ \hline
\end{array}
\quad
T^{IV}=\begin{array}{|c|c|c|c|c|}
\hline
T_{01} & T_{\gamma_{11}} & T_{r_{11}} & T_{n_{11}} & T_{\ell_{11}}\\ \hline
T_{01} & T_{\gamma_{12}} & T_{r_{12}} & T_{n_{12}} & T_{\ell_{12}}\\ \hline
\bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet\\ \hline
T_{01} & T_{\gamma_{1m}} & T_{r_{1m}} & T_{n_{1m}} & T_{\ell_{1m}}\\ \hline
T_{02} & T_{\gamma_{21}} & T_{r_{21}} & T_{n_{21}} & T_{\ell_{21}}\\ \hline
\bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet\\ \hline
T_{0k} & T_{\gamma_{km-1}} & T_{r_{km-1}} & T_{n_{km-1}} & T_{\ell_{km-1}}\\ \hline
T_{0k} & T_{\gamma_{km}} & T_{r_{km}} & T_{n_{km}} & T_{\ell_{km}}\\ \hline
\end{array}
\qquad (4)
$$

6. Формируются корреляционные матрицы [10]:

r=

j \ i	0	n	γ	r	l
0	r_{00}	r_{n0}	$r_{\gamma 0}$	r_{r0}	r_{l0}
n	r_{0n}	r_{nn}	$r_{\gamma n}$	r_{rn}	r_{ln}
γ	$r_{0\gamma}$	$r_{n\gamma}$	$r_{\gamma\gamma}$	$r_{r\gamma}$	$r_{l\gamma}$
r	r_{0r}	r_{nr}	$r_{\gamma r}$	r_{rr}	r_{lr}
l	r_{0l}	r_{nl}	$r_{\gamma l}$	r_{rl}	r_{ll}

при $T_0^{I} < T_n$; (5)

r=

j \ i	n	0	γ	r	l
n	r_{nn}	r_{0n}	$r_{\gamma n}$	r_{rn}	r_{ln}
0	r_{n0}	r_{00}	$r_{\gamma 0}$	r_{r0}	r_{l0}
γ	$r_{n\gamma}$	$r_{0\gamma}$	$r_{\gamma\gamma}$	$r_{r\gamma}$	$r_{l\gamma}$
r	r_{nr}	r_{0r}	$r_{\gamma r}$	r_{rr}	r_{lr}
l	r_{nl}	r_{0l}	$r_{\gamma l}$	r_{rl}	r_{ll}

при $T_n < T_0^{II} < T_\gamma$; (6)

r=

j \ i	n	γ	0	r	l
n	r_{nn}	$r_{\gamma n}$	r_{0n}	r_{rn}	r_{ln}
γ	$r_{n\gamma}$	$r_{\gamma\gamma}$	$r_{0\gamma}$	$r_{r\gamma}$	$r_{l\gamma}$
0	r_{n0}	$r_{\gamma 0}$	r_{00}	r_{r0}	r_{l0}
r	r_{nr}	$r_{\gamma r}$	r_{0r}	r_{rr}	r_{lr}
l	r_{nl}	$r_{\gamma l}$	r_{0l}	r_{rl}	r_{ll}

при $T_\gamma < T_0^{III} < T_r$; (7)

r=

j \ i	n	γ	r	0	l
n	r_{nn}	$r_{\gamma n}$	r_{rn}	r_{0n}	r_{ln}
γ	$r_{n\gamma}$	$r_{\gamma\gamma}$	$r_{r\gamma}$	$r_{0\gamma}$	$r_{l\gamma}$
r	r_{nr}	$r_{\gamma r}$	r_{rr}	r_{0r}	r_{lr}
0	r_{n0}	$r_{\gamma 0}$	r_{r0}	r_{00}	r_{l0}
l	r_{nl}	$r_{\gamma l}$	r_{rl}	r_{0l}	r_{ll}

при $T_r < T_0^{IV} < T_l$; (8)

7. Определяются частные коэффициенты корреляции второго порядка по формулам:

$$
R_{l,n/\gamma,r}=\frac{R_{l,n/\gamma}-R_{l,r/\gamma}\cdot R_{n,r/\gamma}}{\sqrt{(1-R_{l,r/\gamma}{}^{2})\cdot(1-R_{l,r/\gamma}{}^{2})}};
$$

$$
R_{l,\gamma/n,r}=\frac{R_{l,\gamma/\gamma}-R_{l,r/n}\cdot R_{\gamma,r/n}}{\sqrt{(1-R_{l,r/n}{}^{2})\cdot(1-R_{l,r/n}{}^{2})}}; \qquad (9)
$$

$$
R_{l,r/\gamma,n}=\frac{R_{l,r/\gamma}-R_{l,n/\gamma}\cdot R_{r,n/\gamma}}{\sqrt{(1-R_{l,n/\gamma}{}^{2})\cdot(1-R_{l,n/\gamma}{}^{2})}},
$$

где

$$
R_{l,n/\gamma}=\frac{r_{l,n}-r_{l,\gamma}\cdot r_{n,\gamma}}{\sqrt{(1-r_{l,\gamma}{}^{2})\cdot(1-r_{n,\gamma}{}^{2})}};
$$

$$
R_{l,n/r}=\frac{r_{l,n}-r_{l,r}\cdot r_{n,\gamma}}{\sqrt{(1-r_{l,r}{}^{2})\cdot(1-r_{n,r}{}^{2})}};
$$

$$
R_{l,\gamma/n}=\frac{r_{l,\gamma}-r_{l,n}\cdot r_{\gamma,n}}{\sqrt{(1-r_{l,n}{}^{2})\cdot(1-r_{\gamma,n}{}^{2})}};
$$

$$
R_{l,\gamma/r}=\frac{r_{l,\gamma}-r_{l,r}\cdot r_{\gamma,r}}{\sqrt{(1-r_{l,r}{}^{2})\cdot(1-r_{\gamma,r}{}^{2})}};
$$

$$
R_{l,r/n}=\frac{r_{l,r}-r_{l,n}\cdot r_{r,n}}{\sqrt{(1-r_{l,r}{}^{2})\cdot(1-r_{r,n}{}^{2})}}; \qquad (10)
$$

$$
R_{l,r/\gamma}=\frac{r_{l,r}-r_{l,\gamma}\cdot r_{r,\gamma}}{\sqrt{(1-r_{l,\gamma}{}^{2})\cdot(1-r_{r,\gamma}{}^{2})}};
$$

$$
R_{n,r/\gamma}=\frac{r_{n,r}-r_{n,\gamma}\cdot r_{r,\gamma}}{\sqrt{(1-r_{n,\gamma}{}^{2})\cdot(1-r_{r,\gamma}{}^{2})}};
$$

$$
R_{\gamma,r/n}=\frac{r_{\gamma,r}-r_{\gamma,n}\cdot r_{r,n}}{\sqrt{(1-r_{\gamma,n}{}^{2})\cdot(1-r_{r,n}{}^{2})}};
$$

$$
R_{r,n/\gamma}=\frac{r_{r,n}-r_{r,\gamma}\cdot r_{n,\gamma}}{\sqrt{(1-r_{r,\gamma}{}^{2})\cdot(1-r_{n,\gamma}{}^{2})}};
$$

значения частных коэффициентов корреляции первого порядка.

8. Определяется значимость найденных парных коэффициентов корреляции с требуемой доверительной вероятностью. Для этого сравнивается значение выражения (2) и квантиля распределения Стъюдента с $k\cdot m-2$ степенями свободы.

9. По максимуму частного коэффициента корреляции второго порядка выбирается наиболее значимая факторная переменная T^*.

10. Строится зависимость (2) при исходных данных (4) и (9) согласно [10] для различных значений $T_0^{I} \div T_0^{IV}$ и по полученной зависимости уточняется T_ℓ.

11. Строится зависимость $T_{OP}^{I} \div T_{OP}^{IV}$ согласно выражений (1).

5. Программа корреляционно-регрессионного анализа

Для проведения корреляционно-регрессионного анализа ресурсных характеристик ОКП авторами разработано специализированное инструментальное средство.

Основой инструментального средства является программа, представляющая собой исполняемый файл, работающий в любой Microsoft Windows NT совместимой операционной системе. Программа не требует для своего функционирования инсталляции, наличия дополнительных библиотек, конфигурационных файлов, файлов ресурсов, записей в системный реестр и может быть запущена из любого носителя. Для создания программы, учитывая рекомендации работы [11], использовалась среда Borland Delphi 7.0.

Особенностью программы инструментального средства является оценка значимости коэффициентов корреляции. Квантили распределения Стъюдента хранятся в программе в виде массива констант. Индекс элемента массива соответствует числу степеней свободы.

Программа для проведения корреляционно-регрессионного анализа имеет одну главную форму (рис. 2) и содержит следующие интерфейсные элементы:

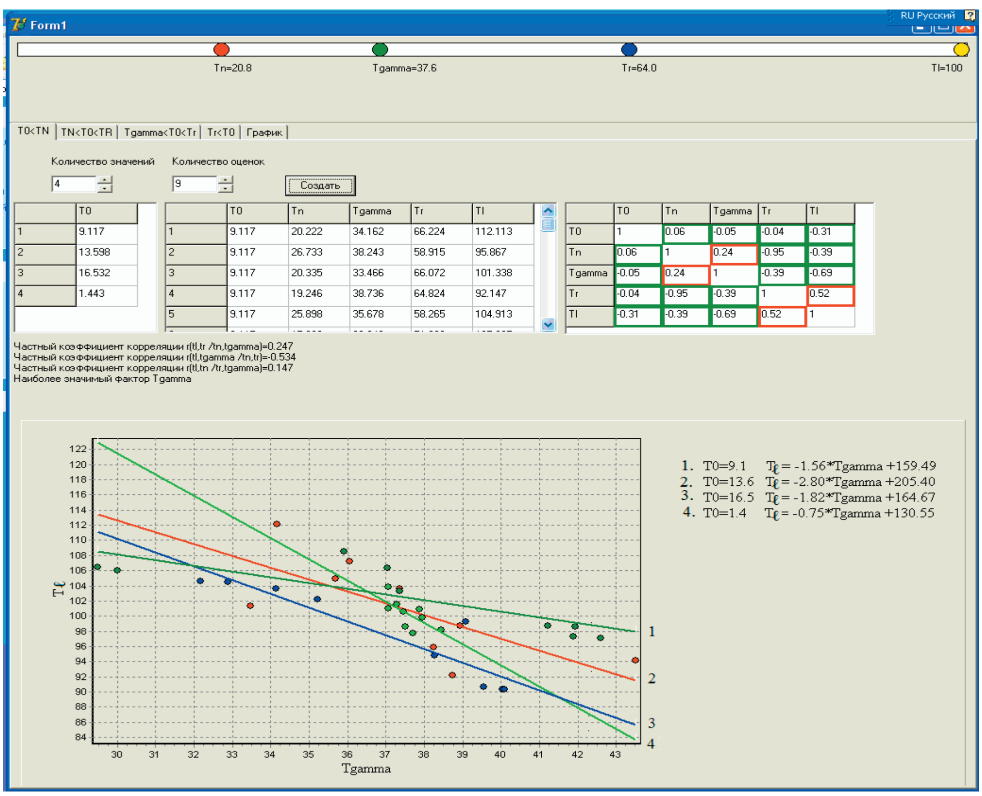

Рис. 2. Главное окно программы

– Шкала для задания математических ожиданий факторных переменных $\overline{T}_n$, $\overline{T}_\gamma$, $\overline{T}_r$. Значения факторных переменных задаются перетаскиванием соответствующих маркеров с помощью мыши.

– Многостраничная панель, с закладками, соответствующими режимам работы программы ($T_0^{I} < T_n$, $T_n < T_0^{II} < T_\gamma$, $T_\gamma < T_0^{III} < T_r$, $T_r < T_0^{IV} < T_\ell$).

Каждая страница многостраничной панели имеет следующие интерфейсные элементы:

– Области ввода количества оценочных точек T_0 и количества оценок ресурсных факторов T_n, T_γ, T_r в каждой точке оценивания. Области ввода снабжены инкрементными и декрементными кнопками. Диапазон изменения – от 2 до 10.

– Таблица значений T_0.

– Таблица, соответствующая матрице наблюдений.

– Таблица соответствующая корреляционной матрице. При расчете парных коэффициентов корреляции, незначимые коэффициенты выделяются красным цветом.

– Тестовая область, в которую выводятся значения частных коэффициентов корреляции и вывод о наиболее значимом факторе.

– Панель с графиками найденных регрессионных функций, снабженная поясняющим текстом. На поясняющем тексте приводится конечный вид полученных уравнений регрессии для различных T_0.

О значимости результирующего уравнения регрессии принимает решение ЛПР. Так, например, для случая, показанного на рис. 2, можно сделать следующие выводы:

1) Поскольку коэффициент парной корреляции $r_{n,r}$, близок к единице, а $r_{\gamma,r}$ не значим, то уменьшение фазового пространства оправдано.

2) При различных значениях T_0 уравнение регрессии меняется незначительно, что подтверждает его достоверность.

6. Выводы

1. Показано применение корреляционно-регрессионного анализа для выбора значимых ресурсных характеристик сложных изделий.

2. Предложен подход для прямого прогнозирования остаточного ресурса сложных изделий.

Литература

1. Ресурс и надежность оборудования и трубопроводов АЭС. Авторский коллектив: Г.В.Аркадов, А.Ф.Гетман, К.Н.Маловик, С.Б.Смирнов: Учебное пособие. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2012.- 348 с.

2. Острейковский, В.А. Эксплуатация атомных станций: Учебник для вузов / В.А. Острейковский. М.: Энергоатомиздат, 1999 – 928 с.
3. Маловик, К.Н. Анализ ресурсных характеристик при неоднородном потоке отказов изделий. Методи та прилади контролю якості. [Текст] / К.Н.Маловик. –Івано-Франківськ, 2011.- №26, с.85-89.
4. Болотин, В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций [Текст]/ В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1984.- 312 с.
5. Ястребенецкий, М.А. Системы управления и защиты ядерных реакторов [Текст] / М.А. Ястребенецкий, Ю.В. Розен, С.В. Елисеев, А.А. Сиора, В.В. Силер, Л.И. Спектор, В.С. Харченко; Под ред. М.А. Ястребенецкого. – К.: Основа-Прин, 2011.- 768 с.
6. Антонов, А.В. Статистические методы в теории надежности: Учебное пособие [Текст] / А.В.Антонов, М.С. Никулин. – М.: Абрис, 2012.- 390 с.
7. Правила устройства и безопасности эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных электрических установок: ПН АЭС-7-008-89. – М.: Энергоатомиздат, 1998.
8. Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности. Международное агентство по атомной энергии. – Вена, 2008.
9. Маловик, К.Н.. Совершенствование методов анализа ресурсоспособности изделий. Международный научно-технический журнал Энергетика – известия ВУЗв и энергетических объединений СНГ. [Текст] / К.Н. Маловик – Минск, 2012.-№2, с.50-57.
10. Ходасевич, Г.Б. Обработка экспериментальных данных на ЭВМ: учеб. пособие [Текст] / Г.Б. Ходасевич. СПб.: СПбГТУ, 2002. Ч. 2 : Обработка многомерных данных. 82 с.
11. Бен-Ари, М. Языки программирования. Практический сравнительный анализ [Текст] / М. Бен-Ари. М.: Мир, 2000.- 366с.

УДК 517.965.3+519.246+519.218.7 (045)

ПРЕДЕЛЬНО ГИПЕРБОЛИЧЕСКИЙ ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В САМООРГАНИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ

Н.И. Делас
Кандидат технических наук, докторант*
Контактный тел.: 067-501-62-77
E-mail: nikolaivad@gmail.com
В.А. Касьянов
Доктор технических наук, професор*
Контактный тел.: 050-700-79-04
E-mail: vakasyanov@mail.ru
*Кафедра механики
Национальный авиационный университет
пр. Комарова, 1, г. Киев, Украина, 03680

На основі принципу максимуму ентропії отриманий закон розподілу, який асимптотично наближається до степенного (гіперболічного). Виведені співвідношення для параметрів цього розподілу

Ключові слова: гіперболічний розподіл, закон Ципфа, ентропія

На основе принципа максимума энтропии, получен закон распределения, асимптотически приближающийся к степенному (гиперболическому). Выведены соотношения для параметров этого распределения

Ключевые слова: гиперболическое распределение, закон Ципфа, энтропия

On the basis of the principle of maximum entropy, the distribution is obtained, asymptotically approaching a power (hyperbolic). Relations are derived for the parameters of this distribution

Keywords: hyperbolic distribution, Thipf's law, the entropy

Введение

Как в природе, так и в сфере человеческой деятельности можно увидеть множество примеров сложившихся систем, где «правит» степенной (гиперболический) закон распределения. Нередко он носит название закона Ципфа, обнаружившего его проявление в лингвистике, однако, в зависимости от сферы проявления варианты названия варьируются.

Так, в экономике – это закон Парето (неравномерность распределения материальных благ в обществе); в социальной географии – закон Ауэрбаха (распределение городов по численности населения). Законом Бредфорда называют распределение ученых по их продуктивности, законом Кудрина – распределение типовых технических агрегатов на крупных промышленных комбинатах. Степенной вид имеют распределения размеров усталостных дефектов в металлических