

УДК 004.67:519.257

К.Н. Маловик, доцент, канд. техн. наук

*Севастопольский национальный университет ядерной энергетики и промышленности,
г. Севастополь, Украина*

Н.А. Скаткова, доцент, канд. техн. наук,

В.С. Ловягин, аспирант

*Севастопольский национальный технический университет
ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина
E-mail: lovyagin88@gmail.com*

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ПРИ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Рассматривается задача принятия решений по управлению рисками, возникающими при оценке состояния объектов критического применения. Показаны примеры экспериментального исследования применимости статистических критериев для случайных выборок. Предоставлены оценочные матрицы для принятия решения о выборе стратегии оценки состояния объектов критического применения.

Ключевые слова: управление рисками, оценка состояния объектов критического применения, мощность непараметрических статистических критериев.

Одной из важнейших проблем функционирования объектов критического применения, в частности компонентов АЭС, является обеспечение их гарантоспособности [1]. Под гарантоспособностью принято понимать несколько расширенное понятие надежности, содержащее следующие составляющие: безотказность, готовность, живучесть, функциональная безопасность, целостность, конфиденциальность, достоверность, обслуживаемость.

Для решения задачи синтеза гарантоспособных систем необходимо собрать и проанализировать информацию о возникших дефектах и чрезвычайных происшествиях.

Процесс мониторинга и сбора статистической информации в данных условиях обладает следующими особенностями:

- дефицит информации — получение статистических данных связано с возникновением чрезвычайных ситуаций, катастроф различного масштаба;
- сложность построения систем тотального мониторинга.

Таким образом, для обеспечения гарантоспособности объектов критического применения необходимо решить ряд проблем, в том числе повысить эффективность статистических методов анализа малых выборок.

Фактический уровень надежности и безопасности объектов критического применения и АЭС, в частности, в условиях эксплуатации задается на основе принятия решения по управлению рисками при оценке состояния этих объектов. Состояние объектов критического применения оценивается на основе непараметрических критериев. Данные методы применимы в условиях недостаточной априорной информации о воздействии внешних факторов на систему, малых объемах выборок значений наблюдаемых параметров объектов критического применения.

Для исследования эффективности статистических критериев проверки гипотез об однородности статистического материала и оценки рисков ошибочных решений при принятии гипотез разработан программно-аппаратный комплекс — исследовательский стенд.

Процесс исследования представляет собой совокупность экспериментов, позволяющих получить оценки рисков при различных сочетаниях входных параметров.

Программное обеспечение предлагаемого исследовательского стенда содержит следующие структурные составляющие:

- подсистема генерирования случайных выборок с априорно заданными параметрами, близких к реальным выборкам параметров сложных систем;
- подсистема управления комплексом;
- подсистема вычисления статистических критериев;
- подсистема логического вывода о принадлежности вычисленного критерия множеству значений принятия гипотезы;
- подсистема определения статистических оценок рисков принятия ошибочных решений и мощностей критериев.

На основе результатов экспериментов, проводимых с помощью исследовательского стенда, возможно построение оценочных матриц для систем поддержки принятия решений в условиях неизвестного возмущающего воздействия на объекты критического применения. Оценочной матрицей

называют таблицу, содержащую информацию о возможных потерях при применении той или иной стратегии оценки состояния объектов критического применения при неизвестном возмущающем воздействии внешней среды на оцениваемые объекты.

Одной из основных задач статистического исследования объектов критического применения является оценка статистической однородности выборок. Если выборки однородны, то считают, что они извлечены из одной и той же генеральной совокупности и, следовательно, имеют одинаковые, причем неизвестные, непрерывные функции распределения $F_1(x)$ и $F_2(x)$.

При исследовании мощности воздействия внешних факторов на сложные системы предлагается сформулировать и проверять гипотезу H_0 : «Вектор выходных параметров не меняет закона распределения». Таким образом, нулевая (основная) гипотеза состоит в том, что при всех значениях аргумента (обозначим его через x) функции распределения равны между собой: $F_1(x) = F_2(x)$. В случае принятия гипотезы H_0 следует вывод об отсутствии влияния внешних факторов или незначительности этого влияния.

Конкурирующей является гипотеза H_1 : $F_1(x) \neq F_2(x)$.

Конкурирующая гипотеза H_1 принимается в случае опасного воздействия внешних факторов. В рассматриваемом случае H_0 и H_1 – простые, непараметрические гипотезы [2], т.е. полностью определяют все множество параметров распределения случайной величины и не зависят от вида распределения случайной величины.

Для построения оценочных матриц возможных потерь при применении той или иной стратегии оценки состояния объектов критического применения в зависимости от возмущающего воздействия внешней среды (далее будем называть данную матрицу — оценочная матрица) необходимо исследовать мощность статистических критериев при анализе выборок случайных величин с априорно известным уровнем воздействия внешней среды. Вышеописанные исследования возможно проводить с помощью предложенного исследовательского программного стенда. Понятие мощности статистического критерия связано с понятием вероятности допущения ошибок первого ($P(H_1|H_0)$) и второго ($P(H_0|H_1)$) родов.

Проведем ряд экспериментов по исследованию мощности непараметрического статистического критерия на примере критерия Пирсона.

Эксперимент № 1.

Проводятся серии экспериментов по определению вероятности принятия гипотезы H_1 с помощью расчета критерия Пирсона. Число экспериментов в каждой серии $N=50$. Для каждой серии экспериментов вероятность $P(H_0|H_1)$. $P(H_0|H_1)$ – вероятность допущения ошибок второго рода. В ходе исследования будут генерировать выборки случайных величин, объем которых $n = [5, 20]$.

Случайные величины распределены согласно нормальному закону распределения с параметрами $\sigma^2 = 0,1$; параметр m смещается на величину $\Delta m \in [-0,2, 0,2]$;

Таблица 1 – Значения $P(H_0|H_1)$ при изменении условий нарушения однородности выборок с нормальными функциями распределения

$n \backslash \Delta m$	-0,2	-0,15	-0,1	-0,05	0	0,05	0,1	0,15	0,2
5	0	0	0	0,02	0,12	0,04	0,02	0,06	0
6	0	0	0	0,04	0,14	0,28	0,12	0,04	0,02
7	0	0	0	0,16	0,42	0,36	0,26	0,06	0
8	0	0	0,08	0,32	0,74	0,46	0,24	0,1	0,04
9	0	0	0,06	0,44	0,86	0,6	0,2	0,14	0,1
10	0	0	0,16	0,7	0,84	0,52	0,32	0,08	0,06
11	0	0	0,1	0,7	0,96	0,8	0,46	0,26	0,08
12	0	0,02	0,36	0,76	0,92	0,68	0,5	0,28	0,22
13	0	0,02	0,32	0,88	0,96	0,72	0,44	0,18	0,1
14	0	0,1	0,48	0,88	0,98	0,66	0,58	0,3	0,02
15	0	0,06	0,5	0,92	0,94	0,72	0,52	0,32	0,1
16	0	0,16	0,52	0,88	0,96	0,78	0,68	0,38	0,1
17	0	0,1	0,7	0,96	0,9	0,76	0,64	0,42	0,16
18	0	0,28	0,8	1	1	0,82	0,64	0,54	0,22
19	0,02	0,34	0,84	1	1	0,94	0,78	0,52	0,24
20	0,02	0,32	0,88	0,94	0,98	0,9	0,66	0,44	0,16

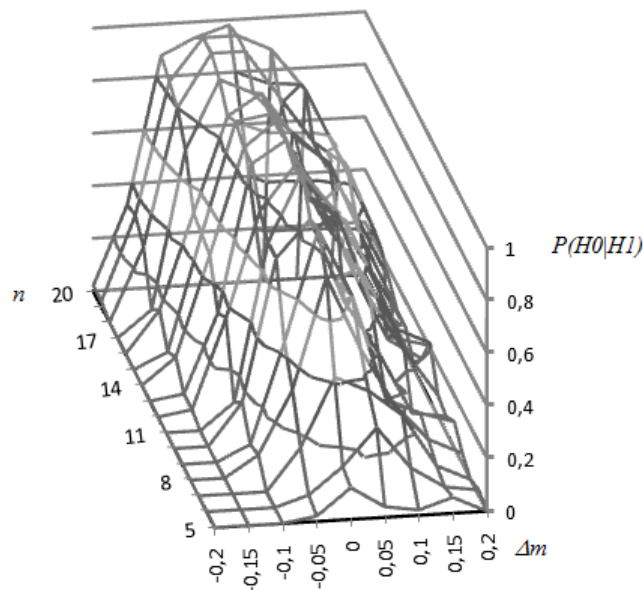


Рисунок 1 — Зависимость $P(H_0|H_1)$ от степени разности нормальных функций распределения сравниваемых выборок и объемов выборок случайных величин

Авторы умышленно предоставляют рисунок 1 с целью показать сложность и многоэкстремальность получаемой функции, для более удобного восприятия результатов эксперимента приведем рисунок 2 с двухмерным представлением информации. На рисунке 2 выделены области, на которых вероятность $P(H_0|H_1)$ находится в заданных интервалах.

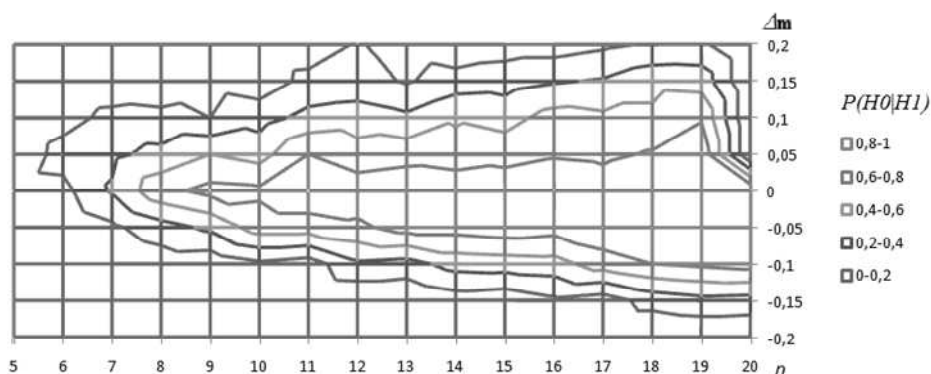


Рисунок 2 — интервальные оценки $P(H_0|H_1)$ в зависимости от степени разности нормальных функций распределения сравниваемых выборок и объемов выборок случайных величин

Эксперимент № 2.

Проводятся серии экспериментов по определению вероятности принятия гипотезы H_1 с помощью расчета критерия Пирсона. Число экспериментов в каждой серии $N=50$. Для каждой серии экспериментов определяется вероятность $P(H_0|H_1)$. $P(H_0|H_1)$ — вероятность допущения ошибок второго рода. В ходе исследования будут генерировать выборки случайных величин, объем которых $n = [5, 20]$.

Случайные величины распределены согласно равномерному закону распределения с параметрами $a = a + \Delta x$, $b = b + \Delta x$, где $\Delta x \in [-5, 5]$.

В силу большого объема численных результатов в данном эксперименте табличные данные не приводятся, а предоставляются только графическое отображение зависимости вероятности допущения ошибки второго рода от возмущающего воздействия на одну из выборок случайных величин и объема этих выборок.

Из рисунка 3 можно увидеть, что функция зависимости вероятности допущения ошибок второго рода при воздействии возмущающего фактора на выборки случайных величин, распределенных по равномерному закону, так же имеет множество локальных экстремумов, и анализ ее в данном виде для человека не предоставляется возможным.

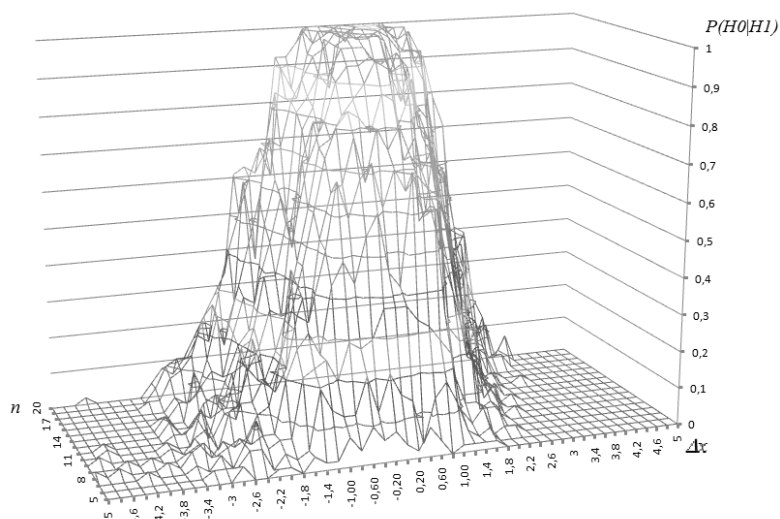


Рисунок 3 — Зависимость $P(H_0|H_1)$ от степени разности равномерных функций распределения сравниваемых выборок и объемов выборок случайных величин

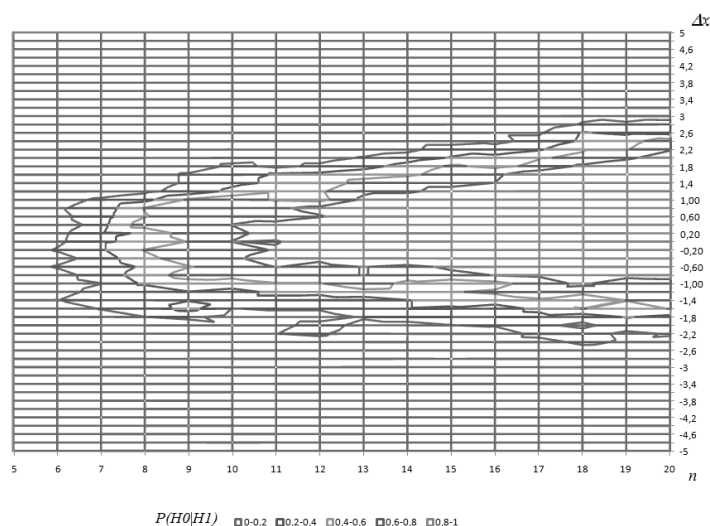


Рисунок 4 — Интервальные оценки $P(H_0|H_1)$ в зависимости от степени разности равномерных функций распределения сравниваемых выборок и объемов выборок случайных величин

В реальных условиях данные, полученные в результате исследования в экспериментах 1 и 2, применяются как входная информация для систем поддержки принятия решений о выборе политики применения статистических критериев (в частности, принятии необходимого объема выборок случайных величин). В данных условиях ставится проблема выделения зон уверенного и неуверенного распознавания наличия возмущающего воздействия на случайные выборки. В данной работе примем вероятность неуверенного распознавания возмущающего воздействия не менее 0,8, вероятность уверенного распознавания – не менее 0,95.

Выделим данные зоны для данных полученных в ходе выполнения экспериментов 1 и 2.

Как было сказано ранее, для принятия решений об управлении рисками при оценке состояния критических объектов необходимо построение оценочной матрицы. Оценочная матрица показывает возможные потери при допущении ошибок второго рода при оценке состояния объектов критического применения. Данные потери рассчитываются по формуле (1):

$$L_{ij} = P(H_0|H_1)_{ij} C, \quad (1)$$

где L_{ij} — величина риска при применении i -ой стратегии оценки состояния объектов критического применения, при j -ом уровне воздействия внешней среды на выборки случайных величин; C — стоимость восстановления после допущения ошибки второго рода.

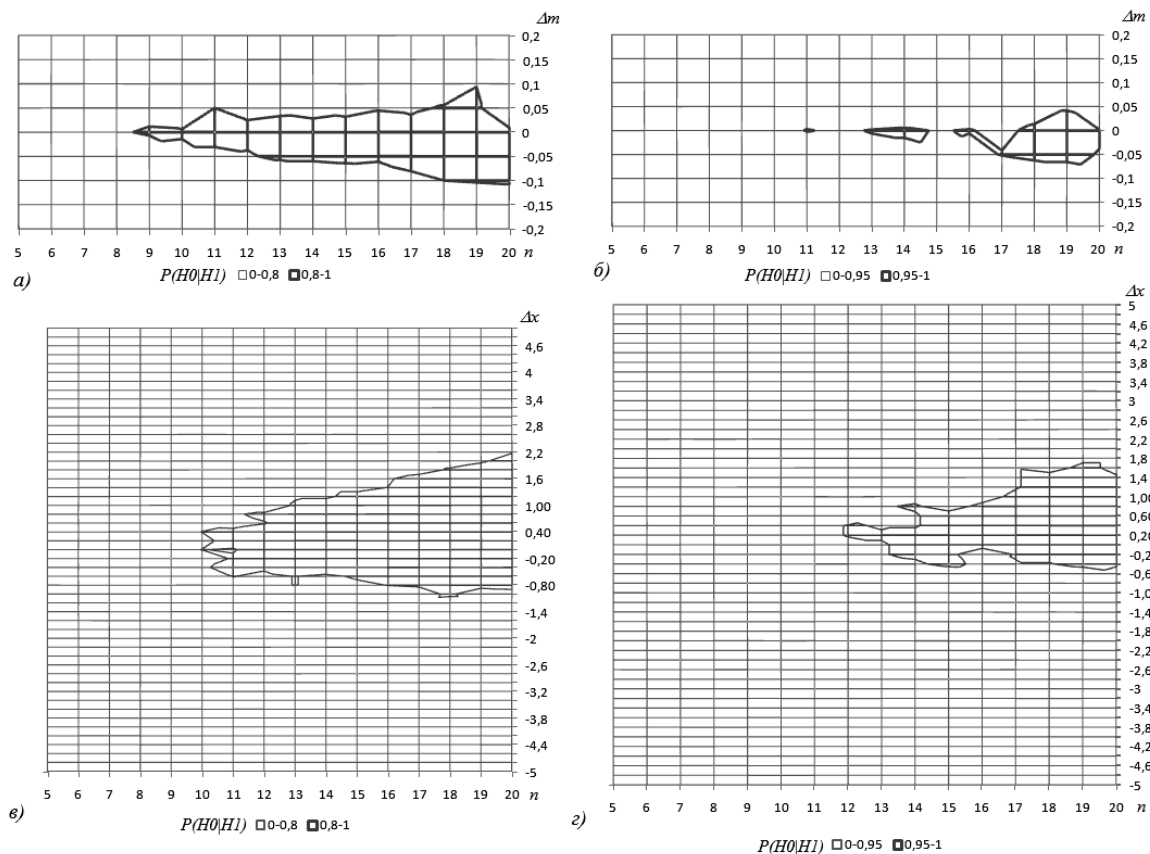


Рисунок 5 — Зоны неуверенного (а, в) и уверенного (б, г) распознавания возмущающего воздействия при различных степенях разности нормальных (а, б) и равномерных (в, г) функций распределения сравниваемых выборок и объемах выборок случайных величин

Приняв величину C равной 100 условным единицам, основываясь на экспериментальных данных можем построить оценочные матрицы для таблицы 1, и фрагменту данных, отображенных на рисунке 3.

Таблица 2 – Оценочная матрица для принятия решений о применении i -ой стратегии оценки состояния объекта критического применения в условиях j -ого уровня воздействия возмущающего фактора на выборки случайных величин, распределенных по нормальному закону

n/dm	-0,2	-0,15	-0,1	-0,05	0,05	0,1	0,15	0,2
5	0	0	0	2	4	2	6	0
6	0	0	0	4	28	12	4	2
7	0	0	0	16	36	26	6	0
8	0	0	8	32	46	24	10	4
9	0	0	6	44	60	20	14	10
10	0	0	16	70	52	32	8	6
11	0	0	10	70	80	46	26	8
12	0	2	36	76	68	50	28	22
13	0	2	32	88	72	44	18	10
14	0	10	48	88	66	58	30	2
15	0	6	50	92	72	52	32	10
16	0	16	52	88	78	68	38	10
17	0	10	70	96	76	64	42	16
18	0	28	80	1	82	64	54	22
19	2	34	84	1	94	78	52	24
20	2	32	88	94	90	66	44	16

Таблиця 3 – Оценочная матрица для принятия решений о применении i -ой стратегии оценки состояния объекта критического применения в условиях j -ого уровня воздействия возмущающего фактора на выборки случайных, распределенных по равномерному закону

$n \backslash dx$	-1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0,2	0,4	0,6	0,8	1
5	8	4	10	6	8	2	8	4	2	2
6	12	12	22	12	22	14	2	14	18	12
7	20	29	27	29	37	37	33	31	27	24
8	43	49	43	55	61	41	71	59	61	33
9	51	69	59	69	73	71	65	69	65	63
10	53	65	67	78	67	75	80	73	69	75
11	59	73	80	84	82	88	86	71	76	57
12	59	75	76	82	86	96	96	78	86	53
13	71	80	80	90	94	96	94	92	94	84
14	55	69	76	92	98	98	94	94	96	92
15	45	76	82	100	98	100	100	100	90	82
16	53	80	84	90	86	100	100	100	98	90
17	71	82	88	94	96	100	98	98	100	98
18	84	82	82	94	100	098	100	100	100	100
19	61	90	84	100	96	100	96	100	100	100
20	67	92	92	96	100	100	100	100	100	100

В работе [3] можно найти следующую классификацию информационных ситуаций, характеризующих поведение внешней среды S в процессе принятия решений при выборе политик n_i .

I_i — i -я информационная ситуация.

I_1 — первая, с заданным распределением априорных вероятностей на элементах множества n ;

I_2 — вторая, с заданным распределением вероятностей с неизвестными параметрами;

I_3 — третья, с заданными системами линейных отношений порядков на компонентах априорного распределения среды S ;

I_4 — четвертая, с неизвестным распределением вероятностей на элементах множества n ;

I_5 — пятая, с антагонистическими интересами среды S в процессе принятия решений;

I_6 — шестая, с «промежуточными» между I_1 и I_5 случаями выбора средой своих состояний;

I_7 — седьмая, с нечетким множеством состояний среды S .

Рассматриваемая ситуация по данной классификации может быть отнесена к 4-ой информационной ситуации.

Для принятия решения в условиях априорно неизвестного уровня воздействия окружающей среды на объект критического применения необходимо построение оценочных функций.

Оценочная функция — интегральная функция, характеризующая все последствия, связанные с принятием конкретного решения о применении стратегии оценки состояния объекта критического применения.

К общеупотребительным оценочным функциям относят:

— оптимистическая позиция — выбор наиболее выгодного случая (критерий минимина);

— позиция нейтралитета — выбор максимального значения из средних значений для i -ой стратегии;

— пессимистическая позиция — ориентация на самый плохой случай (критерий минимакса).

Учитывая особенности эксплуатации объектов критического применения и возможным катастрофическим последствиям для экономики, экологии в случае неверного функционирования объектов, предлагается использование пессимистической позиции. Тогда оценочная функция будет рассчитываться по формуле:

$$\max l_{ir} = \min_i(\max_j l_{ij}).$$

Дополним таблицы 2 и 3 оценочными функциями для выбранной пессимистической позиции.

При использовании данного подхода в обеих ситуациях предлагается выбор политики $n = 5$, обеспечивающей минимальные потери при наихудшем развитии ситуации. Однако оператор, управляющий процессом оценки состояния объектов критического применения, может выбирать и другие позиции оценки.

Таблиця 4 – Оценочная матрица для принятия решений о применении i -ой стратегии оценки состояния объекта критического применения в условиях j -ого уровня воздействия возмущающего фактора на выборки случайных величин, распределенных по нормальному закону

$n \backslash d_m$	-0,2	-0,15	-0,1	-0,05	0,05	0,1	0,15	0,2	$max I$
5	0	0	0	2	4	2	6	0	6
6	0	0	0	4	28	12	4	2	28
7	0	0	0	16	36	26	6	0	36
8	0	0	8	32	46	24	10	4	45
9	0	0	6	44	60	20	14	10	60
10	0	0	16	70	52	32	8	6	70
11	0	0	10	70	80	46	26	8	80
12	0	2	36	76	68	50	28	22	68
13	0	2	32	88	72	44	18	10	72
14	0	10	48	88	66	58	30	2	88
15	0	6	50	92	72	52	32	10	92
16	0	16	52	88	78	68	38	10	88
17	0	10	70	96	76	64	42	16	96
18	0	28	80	100	82	64	54	22	100
19	2	34	84	100	94	78	52	24	100
20	2	32	88	94	90	66	44	16	94

Таблиця 5 – Оценочная матрица для принятия решений о применении i -ой стратегии оценки состояния объекта критического применения в условиях j -ого уровня воздействия возмущающего фактора на выборки случайных величин, распределенных по равномерному закону

$n \backslash d_x$	-1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0,2	0,4	0,6	0,8	1	$max I$
5	8	4	10	6	8	2	8	4	2	2	10
6	12	12	22	12	22	14	2	14	18	12	22
7	20	29	27	29	37	37	33	31	27	24	37
8	43	49	43	55	61	41	71	59	61	33	61
9	51	69	59	69	73	71	65	69	65	63	73
10	53	65	67	78	67	75	80	73	69	75	75
11	59	73	80	84	82	88	86	71	76	57	88
12	59	75	76	82	86	96	96	78	86	53	96
13	71	80	80	90	94	96	94	92	94	84	96
14	55	69	76	92	98	98	94	94	96	92	98
15	45	76	82	100	98	100	100	100	90	82	100
16	53	80	84	90	86	100	100	100	98	90	100
17	71	82	88	94	96	100	98	98	100	98	100
18	84	82	82	94	100	98	100	100	100	100	100
19	61	90	84	100	96	100	96	100	100	100	100
20	67	92	92	96	100	100	100	100	100	100	100

В качестве дальнейшего направления исследований предлагается исследовать возможность управления рисками при выборе стратегии оценки объектов критического применения с учетом нечеткой априорной информации и нечетких суждений эксперта (лица, принимающего решения о степени различия выборок случайных величин).

Бibliографический список использованной литературы

1. Ястребенецкий М.А. Оценка уровня безопасности информационных и управляющих систем АЭС / М.А. Ястребенецкий, В.В. Инюшев, О.Н. Бутакова // Радиоэлектронные и компьютерные системы. — Х.: Изд-во ХАИ, 2008. — № 8 (27). — С. 96–103.

2. Задачи и модели исследований операций. Ч. 3. Технологии имитации на ЭВМ и принятие решений: учебное пособие / И.В. Максимей, В.Д. Левчук, С.П. Жогаль, В.Н. Подобедов. — Гомель: БелГУТ, 1999. — 150 с.

3. Трухаев Р.И. Модели принятия решений в условиях неопределенности / Р.И. Трухаев. — М.: Наука, 1981. — 258 с.

Поступила в редакцию 26.03.2012 г.

Маловик К.М., Скаткова Н.О., Ловягин В.С. Управління ризиками у разі непараметричної статистичної оцінки стану об'єктів критичного застосування

Розглядається задача прийняття рішень з управління ризиками, що виникають під час оцінювання стану об'єктів критичного застосування. Показані приклади експериментального дослідження застосовності статистичних критеріїв для випадкових вибірок. Надано оцінні матриці для прийняття рішення про вибір стратегії оцінювання стану об'єктів критичного застосування.

Ключові слова: управління ризиками, оцінювання стану об'єктів критичного застосування, потужність непараметричних статистичних критеріїв.

Malovik C.N., Skatkova N.A., Loviahin V.S. Risk management during nonparametric statistical assessment of critical objects

The problem of making decisions on risk management arise when assessing the condition of the objects of critical applications is considered. The examples of experimental studies of applicability of statistical criteria for random values is shown. Estimates matrixes of the matrix to make a decision on the choice of evaluation strategy of state of the objects of critical applications are provided.

Keywords: risk management, critical assessment of the objects of critical application, the power of non-parametric statistical tests.