

**Важнейшие результаты за 2016 год, полученные в
Институте вычислительного моделирования СО РАН – обособленном
подразделении ФИЦ КНЦ СО РАН**

**Система интеллектуального анализа данных для оценки теплофизических
параметров бортовой радиоэлектронной аппаратуры**

*Авторы: к.ф.-м.н. с.н.с., Дервянко В.А., к.ф.-м.н. м.н.с., Дервянко В.В., к.ф.-м.н. инж.
Нестеров Д.А.*

Создана система интеллектуального анализа данных для использования в составе автоматизированного рабочего места имитации условий открытого космического пространства и проведения автоматизированного контроля теплофизических характеристик бортовой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Система представляет собой комплекс программных средств, которые обеспечивают накопление, обработку и анализ данных, получаемых в процессе испытаний бортовой РЭА, а также выявление отклонений, указывающих на возможное наличие неисправностей. Основной целью разрабатываемой системы является возможность автоматизированного анализа данных, позволяющего осуществлять автоматические проверки характеристик аппаратуры РЭА в ходе испытаний, а также использовать интеллектуальные алгоритмы анализа для выявления неисправностей. Разработка проведена по заказу ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва».

Система интеллектуального анализа данных разработана для решения задач:

- Обнаружение неисправностей и скрытых дефектов на ранней стадии испытаний, что обеспечит уменьшение повторов испытаний;
- Повышение точности и достоверности обнаружения дефектов, что обеспечит сокращение затрат на их устранение;
- Увеличение надежности и ресурса работы радиоэлектронной аппаратуры за счет обнаружения дефектов, приводящих к деградации параметров.

Основные возможности системы:

1. Автоматизированное получение и накопление результатов испытаний в едином хранилище (в базе данных). В системе использована единая база данных с множественным доступом по сети (технология клиент – сервер), обеспечивающая доступ к информации о моделях РЭА, результатам моделирования, характеристикам ЭРИ и другим данным, необходимым для работы алгоритмов анализа.

2. Автоматизированный тепловизионный контроль РЭА. Измеренные величины температур интересующих областей с помощью системы подвергаются автоматическим проверкам, которые отражают требования методик обработки блоков бортовой РЭА.

3. Использование вычислительных моделей и результатов моделирования для анализа измеренных характеристик бортовой РЭА. Модели бортовой РЭА позволяют использовать информацию о конструкции бортовой РЭА, а также теплофизические характеристики для анализа (сопротивления тепловых контактов, мощности элементов и т.п.). Результаты вычислительного моделирования позволяют проводить сравнение экспериментальных данных с расчетами и выявлять выход значений измеренных характеристик за определенные рамки.

4. Сравнение результатов измерений с накопленными ранее данными и выявление аномалий, указывающих на возможное наличие неисправностей. Испытания однотипных блоков и приборов позволяет накапливать результаты и автоматически их сравнивать между собой.

Для блоков РЭА интеллектуальный анализ данных применяется для выявления отклонений в тепловизионных снимках, что даёт возможность подвергать проверке все элементы блока и автоматически выявлять отклонения, указывающие на дефекты в монтаже или функционировании ЭРИ (рисунок 1). Для приборов интеллектуальный

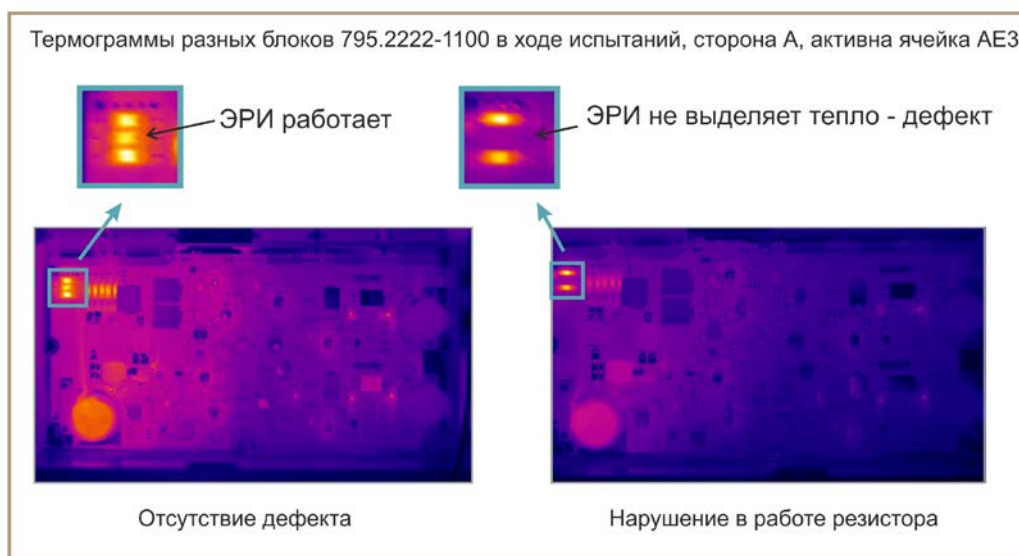


Рисунок 1. – Автоматический анализ термограмм

анализ данных результатов испытаний может использоваться для сопоставления значений температур разных экземпляров одного и того же вида прибора в аналогичных условиях и выявлять аномалии, указывающие на дефект.

Применение нанотехнологий для повышения физико-механических характеристик металлоизделий транспортного машиностроения

Автор: д.т.н. г.н.с., Крушенко Г.Г.

В результате введения в жидкие сплавы, а также в сварочный шов дополнительных центров кристаллизации в виде нанопорошков (далее - НП) высокопрочных тугоплавких химических соединений (нитриды, карбонитриды, карбиды, оксиды, бориды и др.), содержащихся в прутках (рисунок 2), измельчается структура (рисунок 3) литых деталей и сварочного шва (рисунок 4), в результате чего повышаются механические свойства получаемых из них отливок и прочностные характеристики сварного шва.



Рисунок 2 – Слева: бухта прутка $\varnothing 9,5$ мм, отпрессованного из частиц алюминия и нанопорошков, служащего в качестве средства для введения НП в металлические расплавы, а также в качестве сварочного электрода; Справа: внутреннее строение прутка $\varnothing 9,5$ мм, отпрессованного из алюминиевых гранул и НП

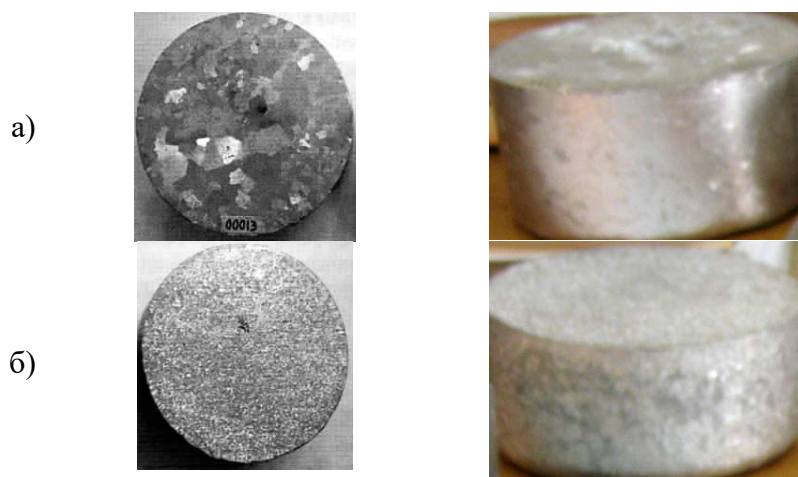


Рисунок 3 – Типичный вид поверхности шлифов технологических проб $\varnothing 70$ мм, отлитых из алюминия в металлическую форму: а) без модифицирования; б) с модифицированием нанопорошком



Рисунок 4 – Образцы, вырезанные из объемной конструкции летательного аппарата, сваренной из листового из сплава АМгб с помощью прутков, содержащих НП

Основные публикации

1. Крушенко Г.Г. Наномодифицирование алюминиевых сплавов при литье деталей транспортных средств, работающих при высоких нагрузках // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2016. – № 1. – С. 22-30.
2. Крушенко Г.Г. Применение нанопорошков химических соединений для повышения качества поверхности литых судовых винтов // Судостроение. – 2016. – № 5. – С. 47-50.
3. Крушенко Г.Г. Получение деталей транспортного средства жидкой штамповкой из сплава АК7 // Вестник СибГАУ. – 2016. – Том 17, № 1. – С. 194-198.
4. Крушенко Г.Г. Повышение чистоты поверхности металлоизделий с применением нанотехнологий // Вестник СибГАУ. – 2016. – Том 17, № 2. – С. 484-489.
5. Крушенко Г.Г. Сварка алюминиевых сплавов нанопучковыми электродами // Сварочное производство. – 2016. – № 5. – С. 39-44.
6. Крушенко Г.Г., Назаров В.П. Выявление лунки в слитках, отливаемых полунепрерывным способом из алюминиевых деформируемых сплавов // Технология металлов. – 2016. – № 10. – С. 2-8.
7. Патент РФ № 2599134 С1 МПК С22С 35/00 С22С 1/02 Способ получения лигатуры алюминий-титан. Заявка № 2015121468/02 от 04.06.2015 г. / Г.Г. Крушенко. Бюл. 2016 № 28.

Новый взгляд на динамику климата планеты Земля

Автор из ИВМ СО РАН: к.ф.-м.н. с.н.с. Белолипецкий П.В.; соавторы: Барцев С.И., академик РАН Дегерменджи А.Г., Иванова Ю.Д., Почкутов А.А., Салтыков М.Ю.

Описано новое ранее неизвестное, но фундаментально значимое свойство климата Земли. Средние по Земле приповерхностные температуры существуют в виде режимов и резких переключений между ними. В 1950-2014 годах наблюдались три режима в 1950-1987, 1988-1997 и 1998-2014 годах. Скачкообразные переходы произошли в 1987, 1997 и

возможно в 2015-2016 годах. Этот сигнал имеющий форму лестницы замаскирован естественной краткосрочной изменчивостью, связанной в первую очередь с явлением Эль-Ниньо Южное Колебание и извержениями вулканов. Нам удалось с помощью метода главных компонент выделить эффекты краткосрочной естественной изменчивости климата и исследовать очищенную от этих эффектов пространственно-временную динамику. Динамика очищенных глобальных приповерхностных температур имеет чётко выраженную структуру режимы-скачки (рисунок 5.а).

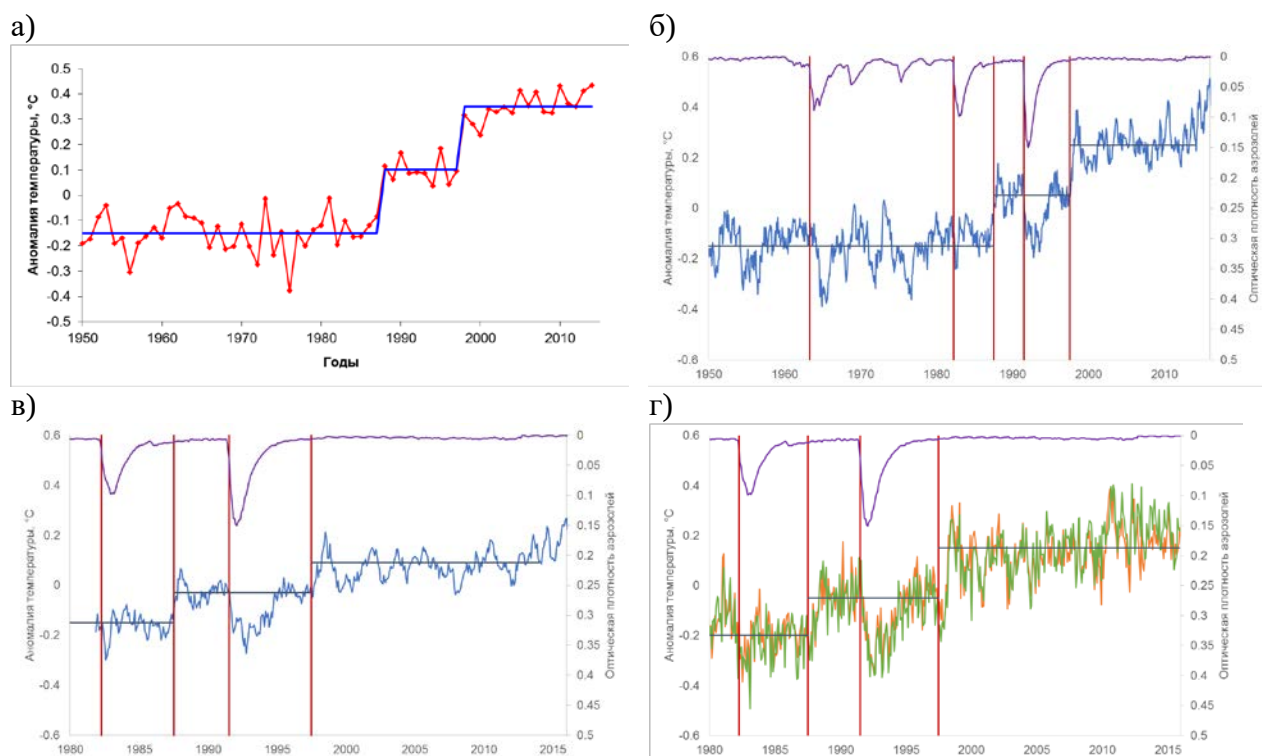


Рисунок 5 – «Лестница» состоящая из режимов и скачков в различных параметрах климата: а) очищенные от Эль-Ниньо и вулканов среднегодовые аномалии приповерхностных температур (HadCRUT4) в 1950-2014 годах; б) очищенные от Эль-Ниньо среднесесячные аномалии температуры поверхности океана (ICOADS) в 1950-2016 годах и оптическая плотность аэрозолей в атмосфере (отражает влияние крупных извержений вулканов); в) То-же что и «б» для спутниковых измерений температуры поверхности океана (NCEP OI v2) в 1983-2016 годах; г) То-же что и «б» для двух баз спутниковых измерений температуры нижней тропосферы (UAH MSU v6.0 и RSS MSU v3.3) в 1980-2016 годах

То, что это не эффект присущий только рассмотренной базы данных приповерхностных температур, было продемонстрировано применением метода коррекции к измерениям температуры океана с кораблей (рисунок 5.б), спутниковым измерениям температуры моря (рисунок 5.в) и нижних слоёв тропосферы (рисунок 5.г). Во многих регионах, не

подверженных сильному воздействию естественных осцилляций, «лестница» наблюдается без каких-либо коррекций.

В подтверждение реальности найденной «лестницы» мы нашли аналогичную динамику в различных глобальных и региональных параметрах – таких как меридиональная скорость ветра и относительная влажность на высоте 300 мбар реанализа NCEP/NCAR (рисунок 6.а), вертикальная конвекция в тропиках реанализа NASA/MERRA,

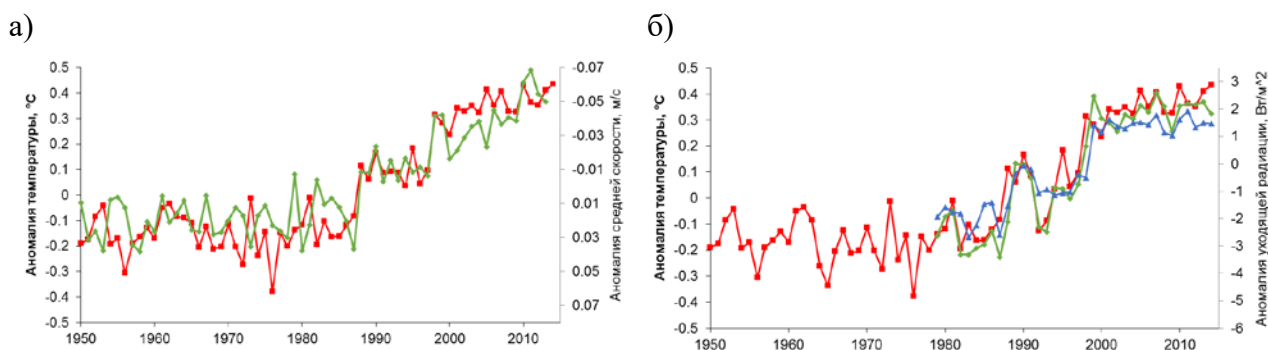


Рисунок 6 – а) сравнение средне глобальной меридиональной скорости ветра на высоте 300mb модели реанализа NCEP/NCAR (зелёная линия) и очищенных от Эль-Ниньо и вулканов среднегодовых аномалий приповерхностных температур (красная линия); б) сравнение спутниковых измерений уходящей длинноволновой радиации (UMD/NCEI) на широтах 30N-70N (зелёная линия), на широтах 30S-70S (синяя линия) и очищенных от Эль-Ниньо приповерхностных температур (красная линия)

уходящая длинноволновая радиация (рисунок 6.б), приповерхностные температуры воздуха северных средних широт. Причины того, что «лестница» наблюдается в этих параметрах и не наблюдается во многих других ещё предстоит исследовать. Из структуры потепления в виде режимов-скачков следует, что методы анализа наблюдаемых изменений климата требуют значительной модификации. Например, видно, как широко используемые тренды климатических параметров чувствительны к выбору рассматриваемого временного интервала. Основой оценки изменений должно стать сравнение климатических параметров разных режимов.

Сохранение квазистационарных значений температуры на фоне роста парниковых газов в 1950-1987, 1988-1997 и 1998-2014 годах может объясняться только наличием глобального терморегулирующего механизма (термостата) в климатической системе. Этот термостат может поддерживать приповерхностные температуры на постоянном уровне несмотря на изменения радиационного воздействия различных факторов (рост концентрации парниковых газов в атмосфере, одиннадцатилетние солнечные циклы). В период между переключениями режимов приповерхностные температуры колеблются

вокруг постоянного уровня за счёт региональных изменений атмосферной циркуляции и случайных факторов. Во время же скачков 1987 и 1997 годов некоторые параметры термостата изменились так, что целевой уровень регулирования температуры вырос. Физические механизмы термостата и скачков являются предметом дальнейших исследований.

Основные публикации

1. Belolipetsky P., Bartsev S., Ivanova Y., Saltykov M. Hidden Staircase Signal in Recent Climate Dynamic // Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences. – 2015. – Vol. 51, No 4. – P. 323-330.
2. Барцев С.И., Белолипецкий П.В., Дегерменджи А.Г., Иванова Ю.Д., Почекотов А.А., Салтыков М.Ю. Новый взгляд на динамику климата земли // Вестник РАН. – 2016. – № 86, Ч.3. – С. 244-251.

Моделирование волновых процессов в блочных средах с пористыми прослойками, насыщенными жидкостью

Авторы: д.ф.-м.н. директор ИВМ СО РАН Садовский В.М., к.ф.-м.н. с.н.с. Садовская О.В., м.н.с. Ченцов Е.П.

Математическая модель блочной упругой среды, используемая при описании процессов распространения упругих волн в кусковатых горных породах, обобщена для учета пористых межблочных прослоек, насыщенных жидкостью. На основе разработанного алгоритма численной реализации модели создан программный комплекс для многопроцессорных вычислительных систем кластерной архитектуры. Учет схлопывания пор в рамках данной модели позволяет анализировать волновые движения с застойными зонами, когда из-за больших сжимающих напряжений проток жидкости через прослойки локально блокируется и перераспределяется между смежными прослойками. Разработанная вычислительная технология для многопроцессорных систем предназначена для моделирования динамических процессов, вызванных интенсивными механическими воздействиями в области или на границе горного массива. На рисунке 7 приведены результаты расчетов на суперкомпьютере МВС–100К Межведомственного суперкомпьютерного центра РАН (МСЦ РАН) возмущения блочной среды типа кирпичной кладки с водонасыщенными швами, вызванного мгновенным вращением центрального блока. Желтым цветом на рисунках изображены зоны нулевой циркуляции, появление которых в движущейся среде (за фронтами головных волн) обусловлено схлопыванием пор.

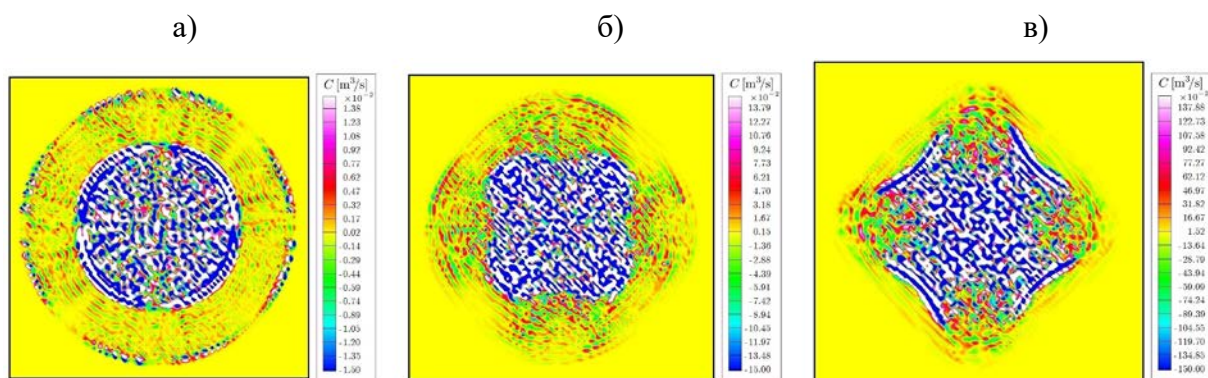


Рисунок 7 – Линии уровня циркуляции потока жидкости в блочном массиве из 100 x 100 блоков с прослойками разной толщины: а) 0.1 мм, б) 1 мм; в) 5 мм

Основные публикации

1. Sadovskii V.M., Sadovskaya O.V. Modeling of elastic waves in a blocky medium based on equations of the Cosserat continuum // *Wave Motion*, 2015. – Vol. 52. – P. 138-150. DOI: 10.1016/j.wavemoti.2014.09.008.
2. Sadovskii V.M., Chentsov E.P. Analysis of oscillation processes in a blocky medium by means of continuous models // *AIP Conference Proceedings*, 2016. – Vol. 1773. – P. 080003-1-080003-9. DOI: 10.1063/1.4964987.
3. Садовский В.М., Садовская О.В., Ченцов Е.П. Программный комплекс для численного моделирования динамических процессов в многоблочных средах на кластерных системах (2Dyn_Blocks_MPI). Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2016615178 от 17.05.2016 // Программы, зарегистрированные в реестре программ для ЭВМ Российской Федерации. Электронный бюллетень – Программы для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных микросхем (RU ОБПБТ № 6(116) от 20.06.2016). М: ФИПС, 2016.

Оптимальный выбор количества интервалов дискретизации области определения одномерной и двумерной плотности вероятности

Авторы: д.т.н. г.н.с. Лапко А.В., д.т.н. в.н.с. Лапко В.А.

На основе анализа асимптотических свойств регрессионной оценки плотности вероятности одномерной и двумерной случайных величин впервые обоснованы и определены оптимальные зависимости количества интервалов дискретизации области её определения от объёма исходных статистических данных. Установлена инвариантность полученной зависимости к изменению параметров восстанавливаемой плотности вероятности. Полученная аналитическая зависимость по виду близка к формуле

Хайнхольда-Гаеде и совпадает с ней при оценивании одномерной плотности вероятности с равномерным законом распределения. Результаты исследований имеют важное значение в задачах проверки гипотез о распределениях случайных величин с использованием критерия Пирсона, оценивании плотностей вероятности и построении их доверительных границ.

Задача дискретизации области значений случайной величины является одной из основных в математической статистике при оценивании плотности вероятности, построении её доверительных границ и проверке гипотез об их распределениях. Начиная с работы Старджесса, предложен ряд методов дискретизации интервала значений одномерной случайной величины, к которым относятся, например, формулы Хайнхольда-Гаеде, Брукса-Каррузера, Скотта, Фридмана-Диакониса. Для многомерных случайных величин предлагаются эвристические рекомендации, основанные на пороговом значении минимального количества m наблюдений попадающих в один интервал ($m = 3, 5, 10$). На основе результатов исследования асимптотических свойств регрессионной оценки плотности вероятности авторами обоснована методика выбора оптимального количества интервалов дискретизации области значений одномерной и двумерной случайной величины.

Для двумерной случайной величины $x = (x_v, v = \overline{1, 2})$ оптимальное количество интервалов дискретизации области её значений по каждой компоненте x_v определяется значением

$$N_v = \left| k_2 \sqrt[4]{n} \right| + 1, \quad k_2 = \sqrt[4]{\frac{3}{4} \Delta_1 \Delta_2 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} p^2(x_1, x_2) dx_1 dx_2}, \quad v = 1, 2, \quad (1)$$

где Δ_1, Δ_2 – длины интервалов значений случайных величин x_1, x_2 , n – объём исходных статистических данных, а $\alpha > |\alpha|$ – целое число. Предложенная формула оптимальной дискретизации (1) была использована для ранжирования по эффективности эвристических методов дискретизации $D(m)$ при $m = 1, 3, 5, 10$ в задаче оценивания плотности вероятности. Например, для двумерного нормального закона распределения зависимых случайных величин количество оптимальных интервалов дискретизации области их значений зависит от коэффициента корреляции r , объёма исходных данных и метода дискретизации. С ростом абсолютного значения коэффициента корреляции r количество оптимальных интервалов дискретизации увеличивается. При малых значениях $|r| < 0,5$ эффективность оптимальной формулы дискретизации (1) сопоставима с эвристическим методом $D(m = 1)$. В условиях $|r| > 0,5$ целесообразно использовать методы дискретизации $D(m = 3)$ и $D(m = 5)$ (Таблица).

Таблица – Значения среднеквадратического отклонения оценки плотности вероятности $\bar{p}(x_1, x_2)$, соответствующие объёму n статистических данных, коэффициенту корреляции $r=0,3$ (а), $r=0,8$ (б) между x_1, x_2 и сравниваемым методом дискретизации

а)

n	Методы дискретизации				
	Формула (1)	$D(m=1)$	$D(m=3)$	$D(m=5)$	$D(m=10)$
100	0,0630	0,0713	0,0630	0,0690	0,0690
300	0,0436	0,0458	0,0436	0,0477	0,0477
500	0,0368	0,0368	0,0380	0,0380	0,0446
700	0,0330	0,0335	0,0357	0,0357	0,0433
900	0,0303	0,0303	0,0308	0,0344	0,0426
1100	0,0283	0,0283	0,0295	0,0335	0,0335
1300	0,0268	0,0270	0,0285	0,0330	0,0330
1500	0,0255	0,0255	0,0278	0,0278	0,0325

б)

n	Методы дискретизации				
	Формула (1)	$D(m=1)$	$D(m=3)$	$D(m=5)$	$D(m=10)$
100	0,1740	0,2100	0,1780	0,1740	0,2100
300	0,1200	0,1478	0,1200	0,1230	0,1440
500	0,1016	0,1432	0,1016	0,1018	0,1120
700	0,0900	0,1300	0,0920	0,0900	0,0940
900	0,0832	0,1250	0,0832	0,0835	0,0900
1100	0,0770	0,1230	0,0797	0,0770	0,0870
1300	0,0730	0,1230	0,0740	0,0730	0,0765
1500	0,0700	0,1100	0,0730	0,0700	0,0740

Отмеченная закономерность не зависит от значений математических ожиданий и среднеквадратических отклонений двумерных случайных величин. Полученные результаты имеют важное значение при проверке гипотез о распределениях случайных величин с использованием критерия Пирсона.

Основные публикации

1. Lapko A.V., Lapko V.A. Optimal selection of the number of sampling intervals in domain of variation of a one-dimensional random variable in estimation of the probability density // Measurement Techniques. – 2013. – Vol. 56, No. 7. – P. 24-27 (DOI: 10.1007/s11018-013-0279-x).
2. Lapko A.V., Lapko V.A. Selection of the Optimal Number of Intervals Sampling the Region of Values of a Two-Dimensional Random Variable // Measurement Techniques. – 2016. – Vol. 59, No.2. – P. 122-126 (DOI: 10.1007/s11018-016-0928-y).