

DOI: 10.18721/JCSTCS.12201
УДК 53.08

**ИНФОРМАЦИОННОЕ ШКАЛИРОВАНИЕ
ВАРИАЦИЙ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
В ПРИЛОЖЕНИЯХ К ЗАДАЧАМ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ**

В.Л. Лазарев

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Исследовано влияние изменений закона распределения на состояние неопределенности параметра на основе информационных оценок. Предложена методология по созданию информационных шкал для оперативной оценки изменения этих состояний. Для иллюстрации предлагаемого подхода рассмотрен пример информационной шкалы, основанной на базе пяти типовых законов распределения, получивших широкое распространение в различных сферах. В результате использования предложенных решений представляется возможным получать оценки трансформации законов распределений на основе порождаемого при этом количества информации. Полученные результаты являются наглядными, а предложенные методы и технологии достаточно «простыми» и удобными для практического использования. Реализация подхода осуществлена на основе методов и разработок теории энтропийных потенциалов, имеет перспективы применения для организации мониторинга и управления.

Ключевые слова: законы распределения, состояния неопределенности, энтропийные потенциалы, информационное шкалирование, мониторинг.

Ссылка при цитировании: Лазарев В.Л. Информационное шкалирование вариаций законов распределения параметров в приложениях к задачам мониторинга и управления // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2019. Т. 12. № 2. С. 7–15. DOI: 10.18721/JCSTCS.12201

**INFORMATIONAL SCALING OF VARIATIONS
IN THE DISTRIBUTION LAWS OF PARAMETERS.
APPLICATIONS TO THE TASKS OF MONITORING AND MANAGEMENT**

V.L. Lazarev

St. Petersburg National Research University
of Information Technologies, Mechanics and Optics,
St. Petersburg, Russian Federation

The paper studies the effect of changes in the distribution law on the parameter uncertainty state based on informational estimates. The proposed methodology for creating information scales for the rapid assessment of changes in these states. To

illustrate the proposed approach, we consider an example of an information scale based on the basis of five model distribution laws that are widely used in various fields. As a result of using the proposed solutions, it is possible to obtain estimates of the transformation of the laws of distributions based on the amount of information generated in this case. The results obtained are illustrative, and the proposed methods and technologies are fairly «simple» and convenient for practical use. The implementation of the approach was carried out on the basis of the methods and developments of the theory of entropy potentials; it has prospects of application for the organization of monitoring and control.

Keywords: laws of distribution, states of uncertainty, entropy potentials, information scaling, monitoring.

Citation: Lazarev V.L. Informational scaling of variations in the distribution laws of parameters. Applications to the tasks of monitoring and management. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunications and Control Systems, 2019, Vol. 12, No. 2, Pp. 7–15. DOI: 10.18721/JCSTCS.12201

Введение

Эволюция закона распределения какого-либо параметра объекта является одной из составляющих процесса изменения его состояния неопределенности. Природа эволюции может быть обусловлена различными причинами: действием естественных возмущений, внесением управляющих воздействий по различным каналам и др. Состояния неопределенности любого параметра g в общем случае могут рассматриваться в n -мерном пространстве различных координат – \mathbf{R}^n . Частным случаем, например, могут являться координаты объема рабочего пространства x, y, z ($n = 3$) камеры для термической обработки различных изделий и заготовок. Если в качестве параметра g рассматривать температуру среды, то функция $g(x, y, z)$ будет описывать неоднородность или состояние неопределенности температурного поля в рабочем объеме камеры. Другим частным случаем может являться временная координата t . Тогда функция $g(t)$ будет описывать состояние неопределенности температуры в какой-либо точке во время обработки. Увеличение размерности пространства, например, может быть осуществлено за счет объединения упомянутых координат в единую систему. При данных условиях функция $g(x, y, z, t)$ будет описывать состояние неопределенности температурного

поля камеры в пространственно-временных координатах ($n = 4$). Возможны и другие варианты [1, 2].

Исследование эволюции состояний неопределенности позволяет «глубже» уяснить природу протекающих в анализируемом объекте процессов. Изменение состояния неопределенности параметра g проявляется, в основном, изменением вида его закона распределения и изменением характеристик его разброса или рассеяния. Для описания разброса используются следующие характеристики: размах выборки, дисперсия – σ^2 , среднее квадратическое отклонение (СКО) – σ , коэффициент вариации и др., поддающиеся достаточно простому численному определению на основании результатов наблюдений [3, 4]. Актуальна задача количественной оценки трансформации закона распределения в процессе эволюции, полностью не решенная до настоящего времени.

Обзор существующих решений.

Постановка задачи

Известен подход к описанию свойств законов распределений с помощью набора начальных и центральных моментов различных порядков, каждый из которых характеризует отдельные свойства этих законов [3, 5]. Возможности такого подхода ограничены и не позволяют получить еди-

ную комплексную оценку «вариативных» свойств законов распределений. Альтернативным является подход, основанный на использовании величины вероятностной энтропии параметра H_g для описания свойств этих законов [6–10]:

$$H_g = - \int_{-\infty}^{\infty} p(g) \ln p(g) dg, \quad (1)$$

где $p(g)$ – закон плотности распределения вероятности параметра g , зависящий только от вида этого закона и характеризующий его «вариативные» свойства.

При таком подходе количество информации I_g , порожденное изменением состояния неопределенности параметра на каком-либо этапе эволюции, будет определяться изменением величины энтропии [11–15]:

$$I_g = H_{g1} - H_{g2}, \quad (2)$$

где H_{g1} и H_{g2} – величины энтропий в начале и в конце рассматриваемого этапа эволюции системы.

Недостаток изложенного подхода – необходимость проведения больших объемов измерений, используемых для построения гистограмм распределений параметра и последующего вычисления величин энтропий. Особенно остро этот недостаток проявляется в случаях, когда проведение измерений требует значительных затрат времени, средств, использования дорогостоящей аппаратуры, реактивов и др. Такие ситуации, например, имеют место при измерении состава и свойств различных веществ и изделий и характерны для многих процессов и производств пищевой, химической, металлургической и др. отраслей промышленности. Замена реальных законов распределений какими-либо типовыми законами (например, нормальным законом) приводит к искажению оценок состояний неопределенности параметров и, следовательно, к снижению эффективности мониторинга процессов их эволюций.

В данной статье излагается подход к решению стоящей задачи, основанный на применении методов и разработок теории энтропийных потенциалов (ТЭП) [14, 15].

С его использованием представляется возможным оценивать результаты трансформации законов распределений на основе порождаемого в этом процессе количества информации. Полученные результаты являются наглядными, а предложенные методы и технологии оценивания – несложными и удобными для практического использования.

Основные положения и возможности ТЭП

В ТЭП описание состояний неопределенности осуществляется с использованием набора понятий энтропийных потенциалов, каждый из которых имеет свои особенности и возможности для описания этих состояний. Базовым является понятие энтропийного потенциала (ЭП) – Δ_e . Другие понятия из этого набора вводятся на основе понятия ЭП с привлечением дополнительных характеристик, усложняя и развивая тем самым модель состояний неопределенности. Таковыми, например, являются комплексный ЭП, многомерный комплексный ЭП. Решение стоящей задачи, возможно, осуществить, используя понятие ЭП. Идея решения состоит в следующем.

Возможности ТЭП позволяют осуществить «уход» от величины энтропии, с присущими ей указанными выше недостатками, к величине ЭП – Δ_e , функционально с ней связанной. Эта величина, в свою очередь, может быть выражена через другие характеристики рассеяния параметра, получение оценок которых требует меньших объемов результатов наблюдений. В ряде случаев соответствующие оценки могут быть получены аналитическим путем, на основе мягких измерений и вычислений, на основе аналогий с другими объектами и явлениями и т. д. Указанная взаимосвязь описывается следующей моделью [14–17]:

$$\Delta_e = \frac{1}{2} e^{H_g} = K_e \sigma, \quad (3)$$

где K_e – энтропийный коэффициент закона распределения параметра, характеризующий его «вариативные» свойства; σ – величина СКО.

Теперь, с учетом (3), исходная информационная модель изменения состояния неопределенности параметра (2) может быть представлена в следующем виде:

$$I_g = H_{g1} - H_{g2} = \ln \Delta_{e1} - \ln \Delta_{e2} = \ln \frac{K_{e1} \sigma_1}{K_{e2} \sigma_2} = \ln \frac{K_{e1}}{K_{e2}} + \ln \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = I_I + I_P. \quad (4)$$

Если состояние неопределенности объекта рассматривается по множеству параметров G , $G = \{g_l; l \in L = \{1, \dots, m\}\}$, то количество информации, порожденной на каждом отдельном этапе эволюции, может быть определено из выражения

$$I_\Sigma = \sum_{l=1}^m c_l I_{g_l}. \quad (5)$$

В выражении (5) величины $c_l (l = 1, \dots, m)$, $\left(\sum_{l=1}^m c_l = 1\right)$ называются весовыми коэффициентами. Они характеризуют «вес» или значимость состояния неопределенности каждого из параметров для описания состояния неопределенности « m -мерного» объекта.

В выражении (4) все величины с индексом 1 соответствуют началу, а с индексом 2 – концу рассматриваемого этапа эволюции системы. Величины

$$I_I = \ln \frac{K_{e1}}{K_{e2}} = \ln k_{ke}, \quad (6)$$

$$I_P = \ln \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \quad (7)$$

называются *интеллектуальной и энергетической составляющей информации*, соответственно [15]. Величина k_{ke} называется *коэффициентом преобразования закона распределения*, рекомендации по ее определению в различных ситуациях приведены, например, в [15].

Технологии и методы проведения анализа, синтеза, организации управления для систем различной природы, основанные на «информационном» подходе, получают все большее распространение [18–20].

Методология и пример построения информационной шкалы

Так как в работе исследуется влияние вида закона распределения параметра на изменение его состояния неопределенности, то для получения информационной оценки этого явления будем полагать, что $\sigma_1 = \sigma_2$. Тем самым выделяется исследуемое явление в «чистом» виде. Следовательно, согласно (4) и (7), $I_P = \ln \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 0$, что и обуславливает использование величины I_I для проведения исследований. Также необходимо определить следующие позиции.

1. Для понимания количественной сути изменений соответствующих состояний следует определить реально возможный диапазон варьирования величины I_I . Это можно сделать исходя из следующих соображений. Реально возможный диапазон варьирования величины энтропийного коэффициента находится в пределах [6–8]:

$$1 \leq K_e \leq 2,07. \quad (8)$$

Поэтому максимально возможное значение величины $I_I - I_I(\max)$ находится из условия:

$$I_I(\max) = \ln \frac{K_{e1}(\max)}{K_{e2}(\min)} = \ln 2,07 \approx 0,73 \text{ [нит]}. \quad (9)$$

Аналогично, минимально возможное значение величины $I_I - I_I(\min)$ находится из условия:

$$I_I(\min) = \ln \frac{K_{e1}(\min)}{K_{e2}(\max)} = -\ln 2,07 \approx -0,73 \text{ [нит]}. \quad (10)$$

Единица измерения количества информации, в данном случае – нит, определяется основанием логарифма в выражениях (9) и (10), т. н. натуральные логарифмы. Использование других логарифмов, например двоичных или десятичных, породит соответствующие единицы: бит и дит. Соотношение между различными единицами измерения информации выражается через основания соответствующих логарифмов с использованием известных зависимостей. Исходя из полученных результатов (9) и (10) можно указать реально возможный диапазон варьирования величины I_I в виде:

$$-0,73 \leq I_I \leq 0,73 \text{ [нит]}. \quad (11)$$

Отрицательные значения величины I_I соответствуют ситуациям, когда в результате завершения рассматриваемого этапа эволюции системы имело место возрастание величины энтропийного коэффициента, т. е. $K_{e1} < K_{e2}$ и наоборот.

2. Также необходимо определить «реперные» точки для величины I_I из диапазона (11), которые целесообразно применять при мониторинге процесса эволюции закона распределения. В качестве таковых предлагается использовать этапы переходов между типовыми, известными и хорошо изученными законами распределений, например, приведенными в табл. 1. Большинство реальных законов распределений параметров, встречающихся на практике, может быть достаточно точно «округлено» до этих законов. При необходимости исходное множество законов может быть пополнено другими законами, что позволит повысить «качество» дискретизации состояний неопределенности параметра на основе информационных оценок. При этом методология и технология проведения самих исследований не изменится. Состоятельность предложенного набора пяти законов распределения подтверждается тем, что значения величин соответствующих энтропийных коэффициентов полностью и равномерно «накрывают» весь реально возможный диапазон их изменения (8). Эти законы расположены в порядке возрастания соответствующих значений величины K_e , их нумерация приведена в столбце 1 табл. 1. Количество информации, порожденное при переходе от i -го к j -му закону распределения параметра, согласно (6), будет определяться из выражения:

$$I_I(i, j) = \ln \frac{K_{ei}}{K_{ej}} = \ln k_{ke}(i, j);$$

$$(i = 1, 2, \dots, 5; j = 1, 2, \dots, 5). \quad (12)$$

В соответствии с (12), значения величин $I_I(i, j)$ для возможных сочетаний индексов i и j вычислены и приведены в табл. 2. Особенности представленных результатов состоят в следующем.

В ячейках главной диагонали, содержащее которых выделено жирным шрифтом, находятся нули. Это следует из того,

что для всех элементов этой диагонали выполняется условие $i = j$. Другими словами, в результате соответствующих переходов вид закона распределения не изменился. Следовательно, справедливо соотношение $K_{ei} = K_{ej}$ и значение величины $k_{ke} = 1$. Поэтому, согласно (12), значение величины I_I в этих ячейках будет равно нулю.

Вторая особенность состоит в том, что при смене очередности следования индексов, согласно (12), дробь под знаком логарифма «перевернется» (т. е. станет обратной относительно исходной). Это обстоятельство приведет к смене знака результата. Поэтому значения величин I_I в ячейках, расположенных симметрично относительно главной диагонали, равны по модулю, но имеют противоположные знаки.

Использование предложенного подхода для организации мониторинга и управления

Прикладная значимость полученных результатов имеет перспективы применения в следующих аспектах.

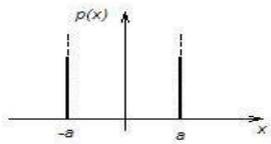
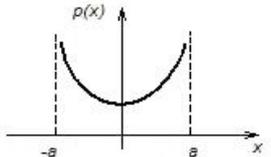
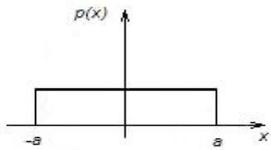
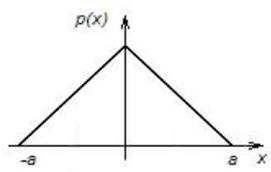
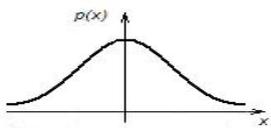
1. Возможность проведения оперативного мониторинга изменения состояний неопределенности, обусловленных изменением закона распределения параметра. Как отмечено выше, условно, реальные законы распределения могут быть «округлены» до какого-либо типового закона, из множества априори выбранных «реперных» законов, например, приведенных в табл. 1. Поэтому влияние изменения закона распределения параметра на каком-либо этапе эволюционного процесса на изменение его состояния неопределенности может быть оценено в виде соответствующей величины $I_I(i, j)$ с использованием данных табл. 2. Так, например, если изначально закон распределения был аппроксимирован законом равномерной плотности распределения ($i = 3$), а впоследствии трансформировался к виду, аппроксимируемому треугольным законом распределения ($j = 4$), то значение величины $I_I(3, 4)$ будет равно $-0,15$ [бит]. Знак минус свидетельствует, что состояние неопределенности, обусловленное таким процессом трансформации закона распределения, возросло.

Таблица 1

Типовые законы распределения вероятностей, использованные для построения «реперных» точек на информационной шкале

Table 1

Typical laws of probability distribution used to construct the «reference» points on the information scale

Тип закона распределения	Плотность вероятности $p(x)$	Вид кривой плотности вероятности	Значение K_e
1. Дискретное двухзначное Распределение	$p(x) = \begin{cases} 0,5 & \text{при } x = a; \\ 0 & \text{при } x \neq a \end{cases}$		1,00
2. Арксинусоидальный закон	$p(x) = \frac{1}{\pi a \sqrt{1 - \left(\frac{x}{a}\right)^2}}; x \leq a$		$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,11$
3. Закон равномерной плотности	$p(x) = \begin{cases} \frac{1}{2a} & \text{при } x \leq a; \\ 0 & \text{при } x > a \end{cases}$		$\sqrt{3} \approx 1,73$
4. Треугольный закон распределения	$p(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x > a; \\ \frac{a - x }{a^2} & \text{при } x \leq a \end{cases}$		$\sqrt{\frac{3e}{2}} \approx 2,02$
5. Нормальный закон	$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$		$\sqrt{\frac{\pi e}{2}} \approx 2,07$

2. Возможность обоснованно и оперативно выбрать канал внесения управляющего воздействия для изменения состояния неопределенности объекта по рассматриваемому параметру. Идея такого выбора основана на анализе соотношения величин I_I и I_P в выражении (4) для конкретного объекта и конкретной ситуации. Если имеет место доминирование какой-либо из компонент, то наличием другой компоненты можно пренебречь и выбирать канал внесения управляющего воздействия только для доминанты.

Так, например, если состояние неопределенности температуры в рабочем объеме упомянутой выше термокамеры в основном определяется величиной I_P , то есть $I_P \gg I_I$, то предпочтительнее выбирать канал, через который можно оказать влияние на процесс формирования величины СКО. Другими словами, имеет место ситуация, когда характеристика разброса температуры в анализируемом объеме, в виде величины σ , изменяется более значительно, чем величина энтропийного коэффициента. Изменение величины СКО (в данном случае

Таблица 2

Значения величин $I_i(i, j)$, порождаемых при переходах между типовыми законами распределения параметра

Table 2

The values of the quantities $I_i(i, j)$ generated during transitions between the typical laws of parameter distribution

$i \backslash j$	1	2	3	4	5
1	0,00	-0,10	-0,55	-0,70	-0,73
2	0,10	0,00	-0,44	-0,60	-0,62
3	0,55	0,44	0,00	-0,15	-0,18
4	0,70	0,60	0,15	0,00	-0,02
5	0,73	0,62	0,18	0,02	0,00

уменьшение) может быть осуществлено различными способами, направленными на «подавление» основных возмущений, определяющих ее формирование. Таковыми, в основном, являются, перетечи наружного, более теплого воздуха, возникающие при открывании люков или дверей в процессе загрузки и выгрузки продукции. Подавление или компенсация таких воздействий может быть осуществлена, например, путем вдувания холодного воздуха в створ люка в период его открывания. Другой способ – создание буферного, шлюзового отсека перед загрузочным люком. Реализация подобных решений позволит уменьшить дестабилизирующее влияние указанных возмущений на состояние неопределенности температурного поля камеры, что приведет к уменьшению величины σ .

Наоборот, если в силу условий и специфики эксплуатации камеры величина σ изменяется менее значительно, чем величина K_e , то есть $I_p \ll I_j$, то наиболее эффективным вариантом организации управления состоянием неопределенности температурного поля будет внесение воздействий, направленных на изменение закона распределения температуры в камере.

Здесь основным возмущением будет являться изменение условий циркуляции потоков охлаждающего воздуха вследствие, например, изменения объемов хранящейся продукции и схемы или конфигурации расположения соответствующих блоков и контейнеров. Управление процессом циркуляции потоков может быть осуществлено за счет целенаправленного изменения положений направляющих заслонок и экранов внутри камеры, что, в конечном счете, приведет к требуемым изменениям величины энтропийного коэффициента.

В общей ситуации, когда значения величин I_l и I_p соизмеримы, то есть $I_p \approx I_l$, необходимо использовать весь комплекс изложенных выше решений по организации управления состоянием неопределенности температурного поля на основе информационной модели (4).

Следует отметить, что методы и технологии организации мониторинга и управления состояниями неопределенности различных объектов, основанные на использовании энтропийных и информационных характеристик, являются востребованными, что находит отражение в планах подготовки кадров высшей квалификации и формировании компетентностных моделей выпускников вузов [21].

Заключение

В статье изложены методология, алгоритм и пример создания информационной шкалы для получения количественных оценок изменений состояний неопределенности, обусловленных трансформацией законов распределений параметров. Использование информационных шкал позволяет оперативно получать оценки изменений соответствующих состояний без применения сложных вычислительных процедур. Предложенные решения базируются на методах и технологиях ТЭП и имеют перспективы применения для организации мониторинга и управления состояниями неопределенности объектов и систем различной природы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазарев В.Л., Богданов П.А., Петров М.М., Томсон К.Ю. К вопросу оценки неоднородности свойств и состава сред // Вестник Международной академии холода. 2018. № 1. С. 74–80.
2. Лазарев В.Л. Исследование и проектирование многокомпонентных систем в биотехнологической промышленности в условиях неопределенности на основе энтропийных потенциалов показателей качества // Вестник Международной академии холода. 2017. № 2. С. 84–90.
3. Боровков А.А. Теория вероятностей. М.: КД Либроком, 2016. 656 с.
4. Геворкян П.С. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Физматлит, 2016. 176 с.
5. Тутубалин В.Н. Теория вероятностей. М.: Academia, 2018. 210 с.
6. Ho S.W., Yeung R.W. The interplay between entropy and variational distance // IEEE Trans. Inform. Theory. 2010. Vol. 56. No. 12. Pp. 5906–5929.
7. Shirokov M.E. Tight uniform continuity bounds for the quantum conditional mutual information, for the Holevo quantity, and for capacities of quantum channels // J Math. Phys. 2017. Vol. 58. No. 10. Pp. 102–202.
8. Wilde M.M. Quantum information theory. Cambridge, UK; New York: Cambridge Univ. Press, 2017.
9. Keevash P., Long E. On the normalized Shannon capacity of a union // Combin. Probab. Comput. 2016. Vol. 25. No. 5. Pp. 766–767.
10. Isermann R. Fault diagnosis application. Heidelberg: Springer, 2011. 354 p.
11. Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. М.: Наука, 1987. 304 с.
12. Lazarev V.L. Processing of observations on the basis of information criteria // Proc. of the 19th Internat. Conf. on Soft Computing and Measurements. St. Petersburg, Russia, 2016. Publisher: IEEE. Pp. 48–50. DOI: 10.1109/SCM.2016.7519679.
13. Чернавский Д.С. Синергетика и информация: Динамическая теория информации. М.: Ленанд, 2017. 304 с.
14. Лазарев В.Л. Теория энтропийных потенциалов. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2012. 127 с.
15. Теоретические основы и методы // Мягкие измерения и вычисления. В 3-х т. Т. 1. М.: ИД «Научная библиотека», 2017. 420 с.
16. Hu Wenhua, Jeffrey C. Carver, Vaibhav Anu, Gursimran Wilia, Gary Bradshaw. Defect prevention in requirements using human error information: An empirical study. Springer International Publishing. Ab 2017. LNCS 10153. Pp. 61–76.
17. Туричин А.М., Новицкий П.В., Левшина Е.С. и др. Электрические измерения неэлектрических величин. Л.: Энергия, 1975. 576 с.
18. Krishnamoorthy S. Linguistic features for review helpfulness prediction // Expert Syst. With Appl. 2015. Vol. 42. No. 7. Pp. 3751–3759.
19. Papageorgiou E. (Ed.) Fuzzy cognitive maps for applied science and engineering: From fundamentals to extensions and learning algorithms. Springer-Verlag, 2014.
20. Le Ba Chung, Holopov Y.A. Information environment for neural-network adaptive control system. Springer, 2017. Vol. 736. Pp. 59–64.
21. Lazarev V.L. Epistemological foundations for generation of perspective competencies in the training of personnel for industrial and economic complex // 4th Forum Strategic Partnership of Universities and Enterprises of Hi-Tech Branches (Science, Education, Innovations). St. Petersburg, Russia. 2015. Publisher: IEEE. Pp. 26–28. DOI: 10.1109/IV Forum.2015.7388242

Статья поступила в редакцию 24.05.2019.

REFERENCES

1. Lazarev V.L., Bogdanov P.A., Petrov M.M., Tomson K.Yu. Evaluating heterogeneity of composition and properties for different environments. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda [Bulletin of the International Cold Academy]*, 2018, No. 1, Pp. 74–80. (rus)
2. Lazarev V.L. Analysis and design of multicomponent systems in biotechnology industry in the context of uncertainty based on entropy potential quality indicators. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda [Bulletin of the International Cold Academy]*, 2017, No. 2, Pp. 84–90. (rus)
3. Borovkov A.A. *Teoriya veroyatnostey [Probability theory]*. Moscow: KD Librokom Publ., 2016, 656 p. (rus)
4. Gevorkyan P.S. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika [Theory of Probability and Mathematical Statistics]*. Moscow: Fizmatlit Publ., 2016, 176 p. (rus)
5. Tutubalin V.N. *Teoriya veroyatnostey [Probability theory]*. Moscow: Academia Publ., 2018, 210 p. (rus)
6. Ho S.W., Yeung R.W. The interplay between entropy and variational distance. *IEEE Trans. Inform. Theory*, 2010, Vol. 56, No. 12, Pp. 5906–5929.

7. **Shirokov M.E.** Tight uniform continuity bounds for the quantum conditional mutual information, for the Holevo quantity, and for capacities of quantum channels. *J. Math. Phys.*, 2017, Vol. 58, No. 10, Pp. 102–202.
8. **Wilde M.M.** *Quantum information theory*. Cambridge, UK; New York: Cambridge Univ. Press, 2017.
9. **Keevash P., Long E.** On the normalized Shannon capacity of a union. *Combin. Probab. Comput.*, 2016, Vol. 25, No. 5, Pp. 766–767.
10. **Isermann R.** *Fault Diagnosis Application*. Heidelberg: Springer, 2011, 354 p.
11. **Kolmogorov A.N.** *Teoriya informatsii i teoriya algoritmov [Information Theory and Algorithm Theory]*. Moscow: Nauka Publ., 1987, 304 p. (rus)
12. **Lazarev V.L.** Processing of observations on the basis of information criteria. *Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements*. St. Petersburg, Russia, 2016. Publisher: IEEE. Pp. 48–50. DOI: 10.1109/SCM.2016.7519679.
13. **Chernavskiy D.S.** *Sinergetika i informatsiya: Dinamicheskaya teoriya informatsii [Synergetics and Information: Dynamic Information Theory]*. Moscow: Lenand Publ., 2017, 304 p. (rus)
14. **Lazarev V.L.** *Teoriya entropiynykh potentsialov [Theory of Entropy Potentials]*. St. Petersburg: Izd-vo Politekhnicheskogo un-ta, 2012, 127 p. (rus)
15. **Prokopchinoy S.V. (Ed.)** *Teoreticheskiye osnovy i metody. Myagkiye izmereniya i vychisleniya [Soft measurements and calculations]*. Moscow: ID «Nauchnaya biblioteka» Publ., 2017, Vol. 1, 420 p. (rus)
16. **Hu Wenhua, Jeffrey C. Carver, Vaibhav Anu, Gursimran Wilia, Gary Bradshaw.** *Defect prevention in requirements using human error information: An empirical study*. Springer International Publishing, 2017, LNCS 10153, Pp. 61–76.
17. **Turichin A.M., Novitskiy P.V., Levshina Ye.S., et al.** *Elektricheskiye izmereniya neelektricheskikh velichin [Electrical measurements of non-electrical quantities]*. Leningrad: Energiya Publ., 1975, 576 p. (rus)
18. **Krishnamoorthy S.** Linguistic features for review helpfulness prediction. *Expert Syst. with Appl.*, 2015, Vol. 42, No. 7, Pp. 3751–3759.
19. **Papageorgiou E. (Ed.)** *Fuzzy cognitive maps for applied science and engineering: From fundamentals to extensions and learning algorithms*. Springer-Verlag, 2014.
20. **Le Ba Chung, Holopov Y.A.** *Information environment for neural-network adaptive control system*. Springer, 2017, Vol. 736, Pp. 59–64.
21. **Lazarev V.L.** Epistemological foundations for generation of perspective competencies in the training of personnel for industrial and economic complex. *4th Forum Strategic Partnership of Universities and Enterprises of Hi-Tech Branches (Science, Education, Innovations)*. St. Petersburg, Russia, 2015. Publisher: IEEE. Pp. 26–28. DOI: 10.1109/IV Forum.2015.7388242

Received 24.05.2019.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / THE AUTHORS

ЛАЗАРЕВ Виктор Лазаревич
LAZAREV Victor L.
 E-mail: holod25@yandex.ru