

УДК 517.956.3+519.246+519.218.7(045)

НЕГАУССОВО РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАК СВОЙСТВО СЛОЖНЫХ СИСТЕМ, ОРГАНИЗОВАННЫХ ПО ТИПУ ЦЕНОЗОВ

Н.И. Делас

Кандидат технических наук, докторант*

Контактный тел.: 067-501-62-77

E-mail: nikolaivad@gmail.com

В.А. Касьянов

Доктор технических наук, профессор*

Контактный тел.: 050-700-79-04

E-mail: vakasyanov@mail.ru

*Кафедра механики

Национальный авиационный университет

пр. Комарова, 1, г. Киев, 03680

Запропоновано короткий огляд об'єктів з негаусовим розподілом. Такі розподіли характерні для широкого кола природних та соціальних явищ, тому являють собою великий інтерес

Ключові слова: негаусовий розподіл, ценози, закон Ципфа

Предложен краткий обзор объектов с негауссовым распределением. Такие распределения характерны для обширного круга природных и социальных явлений, поэтому представляют собой большой интерес

Ключевые слова: негауссово распределение, ценозы, закон Ципфа

This article represents a brief review of objects with the nongauss distribution. Such distributions are typical for the wide circle of natural and social phenomenon, therefore are large interest

*Keywords: nongauss distribution, ceno-
ses, Thipf's law*

Введение

Сложными чаще всего называют системы, состоящие из большого количества взаимодействующих элементов, между которыми практически невозможно выявить все причинно-следственные связи. Многие из этих объектов достаточно хорошо описываются вероятностными методами. Однако такими свойствами обладают лишь системы с гауссовым характером распределения (бильярд Больцмана, броуновское движение, термодинамические системы), у которых при увеличении выборки статистические показатели с нарастающей точностью группируются около определенных числовых характеристик.

Постановка проблемы

При написании данной статьи авторы ставили перед собой задачу дать краткий обзор объектов с негауссовым распределением. У этого распределения отсутствует математическое ожидание, а увеличение генеральной совокупности приводит к росту дисперсии вплоть до бесконечности. Оба эти класса обладают устойчивостью (свертка совокупностей с данными распределениями приводит к распределениям того же вида). Но только гауссовы подчиняются центральной предельной теореме, негауссовы – предельной теореме Гнеденко – Дёблина [1].

Математически негауссовы распределения выражаются убывающей степенной зависимостью. Такой характер дискретного распределения называют *законом Ципфа*, обнаружившего его проявление в линг-

вистике (иногда – законом Ципфа-Мандельброта). Примечательно, что этому эмпирическому закону хорошо подчиняются лишь целостные тексты, но не совокупность отдельных фрагментов [2]. Закон демонстрирует гиперболическую связь между частотой $f(r)$ появления определенного слова в тексте и его рангом r – порядковым номером в списке ранжирования этих частот по убыванию (показатель степени $\beta \approx 1$):

$$f(r) = \frac{C}{r^\beta}, \quad (1)$$

В последнее время интерес к изучению негауссовых систем заметно вырос. Стало очевидным, что в большинстве организационных, экономических, биологических, технических и других сложных систем «правит» степенной (гиперболический) закон распределения. Чаще всего он носит название закона Ципфа, однако в зависимости от отрасли проявления варианты его названия варьируются. Так, будучи обнаруженным в наукометрии, он был назван законом Бредфорда (распределение ученых по продуктивности); в библиометрии – законом Лотке (встречаемость публикаций на заданную тему в библиографических источниках); в экономике – законом Парето (неравномерность распределения материальных благ в обществе); в социальной географии – законом Ауэрбаха (неравномерность распределения городов по численности населения); законом Кудрина, который демонстрирует Н-распределения в технетике (его терминология). Гиперболический закон присущ также биоценозам (от нем. Biosönose). Этот термин

введён Карлом Мёбиусом в 1877 году для описания многообразия организмов, заселяющих определённую территорию.

Наверное, здесь уместно упомянуть и о законе Бенфорда, или законе первой цифры. Он показывает, что в распределениях многих величин, взятых из реальной жизни, чаще всего фигурируют числа с первой значащей цифрой - 1, реже - 2, еще реже - 3, и т.д. Математически закон сформулирован в виде:

$$f(n) = \lg(n+1) - \lg(n) \quad (2)$$

(здесь $f(n)$ - частота появления числа с первой значащей цифрой $n = 1...10$). Однако можно показать, что это выражение достаточно хорошо аппроксимируется гиперболической зависимостью:

$$f(n) \approx \frac{C}{n}, \text{ где } C = 1/\ln(10).$$

Примечательно, что закону Бенфорда подчинены лишь те числовые массивы, которые сложились как некоторые системные образования. Например, он хорошо описывает первичные данные бухгалтерской отчетности или суммы выплат страховых платежей. Американский математик Марк Нигрини реализовал закон Бенфорда в виде программного продукта, который успешно используется аудиторами для обнаружения подтасовок в финансовых отчетах корпораций.

Множество примеров, где проявляется гиперболический характер распределения, впечатляет. Он был обнаружен, кроме прочего, и в таких далеких друг от друга областях как продажи в Интернете (правило Криса Андерсона) [3], астрономия [4], экономика [5], музыка [6], педагогика [7], и даже - криминалистика [8].

Очевидно, что у этих систем есть нечто общее. Прежде всего, они представляют собой целостные объекты. Они достаточно устойчивы к воздействию внешних и внутренних возмущений и способны эффективно приспосабливаться. Такие структуры обладают свойствами масштабной инвариантности (самоподобия) [28,43]. Всё перечисленное позволило выделить их в отдельный класс. Б.И. Кудрин [9] предложил называть их *ценозами*, а науку об этих системах - *ценологией*. Ценологический взгляд на природу вещей им определен как *третья научная картина мира*.

Ценозы отличаются как от детерминистских систем (автомобиль, электростанция), так и от гауссовых вероятностно-статистических объектов (газ в баллоне). Детерминистская система отличается жесткими причинно-следственными связями и функциональной значимостью своих элементов. При отказе одного из них, система становится недееспособной. И, наоборот, гауссовы системы обладают внутренней независимостью и полной функциональной неразличимостью своих элементов (молекулы газа, свободные электроны в металле).

Ценозы по своей природе находятся в некотором промежутке между первыми и вторыми. Так в отличие от детерминистских, они устойчивы к потере (или появлению) некоторой части элементов, а, в отличие от объектов второй группы, все же внутренние

связи у ценозов есть. Эти связи не такие жесткие, как у детерминистской системы, но и присущая их элементам свобода не такая полная, как, например, у молекул газа. Образно говоря, если у детерминистских систем «правит» информация (алгоритм), у гауссовых - свобода (хаос), то у ценозов информация (идея) и свобода (возможность) находятся в системном единстве.

Таким образом, ценоз - это саморегулирующаяся негауссова система со сложившимися нежесткими связями, формирующаяся в условиях внутренних и внешних ограничений на основе некоторой идеи (в тексте это - идея произведения, в биоценозе - идея выживания, в экономике - идея получения дохода). Ограничениями чаще всего выступают ресурсы.

Ценоз - уникальное образование. Его неповторимость обусловлена свободой реализации своей идеи. Ценозы имеют высокую устойчивость, поэтому осуществлять управление такими системами сложно. Внешние воздействия могут быть оказаны либо путем трансформации идеи, либо в результате изменения ограничений. При таком воздействии происходит перегруппировка его элементов и перестройка связей. По сути - меняется сам ценоз.

Ценология как наука вводит [10] свои термины и понятия. Элемент ценоза - это *особь*. Неразличимые по выделяемому набору признаков элементы образуют *вид*. *Популяция* - совокупность особей одного вида. Группа всех видов, имеющих равное количество особей, называется *кастой*. Множество ценозов образуют *сферу*. Будучи заимствованными из биологии, данные термины теперь обозначают объекты, весьма далекие от этой науки. Так, например, особями являются слова в романе «Война и мир», электродвигатели на Череповецком меткомбинате а также многочисленные спутники Сатурна.

Ранее было сказано, что отличительной чертой таких негауссовых систем как ценозы, является присущий им гиперболический характер распределения. Он имеет две взаимнообратные формы. Выделяют [10] ранговидовое гиперболическое распределение: $\Lambda(r) = V/r^\beta$ как зависимость численности популяции данного вида от его ранга, а также - видовое гиперболическое распределение: $\Omega(x) = A/x^\gamma$ - как зависимость количества видов с одинаковым числом особей от численности популяции. Здесь A и V - константы, β , γ - показатели, близкие по величине к единице. Эти две формы соответствуют первому и второму законам Ципфа.

Цель статьи

Поставим своей целью дать обзор существующих подходов, которые приводят различные авторы для описания негауссовых характеристик вышеназванных объектов.

Основные аспекты проблемы

В настоящее время нет единой точки зрения на то, каков механизм лежит в основе возникновения имен-

но степенного (гиперболического) характера распределения. Сам автор упомянутых законов, лингвист и филолог, профессор Гарвардского университета Джордж Кингсли Ципф был увлечен поиском физических идей и статистических методов для объяснения социальной природы. Открытые им эффекты неравномерности распределений объяснял на основе принципа наименьшего действия. Этот принцип, по его мнению, проявляется как результат действия противоположно направленных сил – «силы, толкающей к однообразию, и силы, толкающей к многообразию» [11].

Бенуа Мандельброт – известный французский и американский математик, автор теории фракталов (уточнивший выражение для закона Ципфа), написал об этой книге: «Это было одно из тех сочинений, в которых проблески гениальности, вспыхивающие в самых разных направлениях, почти заслоняются кучей совершенно взбалмошных и экстравагантных идей». Мандельброт сам предложил [12] обоснование гиперболической зависимости в законе Ципфа, сравнивая письменный язык с кодированием. Он показал, что если каждый знак имеет определенную стоимость, то, исходя из требований минимизации стоимости целого сообщения, можно получить формулу, аналогичную закону Ципфа:

$$f(r) = \frac{C}{(B+r)^\beta}, \quad (3)$$

в сравнении с (1) появляется константа B .

В настоящее время авторами предприняты разные подходы, для объяснения механизма степенного (гиперболического) характера распределения в законах Ципфа.

В [13] говорится, о существовании трех групп различных подходов. Однако, на наш взгляд, объяснений происхождения гиперболического закона распределения существует в литературе больше, чем три группы. Вот лишь те из них, которые нам удалось обнаружить:

- 1) Как выбор, основанный на предпочтении [14];
- 2) Как проявление экстремальных принципов: максимума энтропии [15], максимума диссиметрии [16], максимума информации [17,18], минимума затрат ресурсов [12];
- 3) Как реакция динамического объекта на воздействие случайного сигнала в виде дельта-коррелированного шума [19];
- 4) Как результат конкурентного поведения участников [20];
- 5) Как продукт ветвящихся процессов [21,22];
- 6) Как результат предельного перехода некоторых функций распределения случайной величины: функции гипергеометрического распределения [23], функции бета-распределения [24];
- 7) Как результат роста интенсивности источника, время существования которого является случайной величиной [23];
- 8) Как распределение собственных значений в решении стационарного уравнения Шредингера [25] (квадрат этих величин автор отождествляет с интенсивностями классов, то есть численностями популяций);

9) В работе [26] утверждается, что причиной негауссовости распределения доходности по ценным бумагам является нестационарный характер рынка;

10) Как следствие фрактальной природы наблюдаемых объектов [27,42];

11) Как следствие [28], вытекающее из теоремы Онзагера: $\Delta \dot{S} = \sum_i j_i x_i$ и условия устойчивости И.

Пригожина: $\Delta \dot{S} = 0$ для стационарных состояний, близких к равновесию (S – энтропия, j_i, x_i – обобщенные потоки и силы). В данной работе интересна сама по себе форма представления полученного результата в виде огибающей группового солитона;

12) Как решение уравнений с дробными производными. В своей обстоятельной статье [29] авторам удалось в рамках единого дробно-дифференциального подхода описать как «дисперсионный» (степенной) характер переноса в неупорядоченных полупроводниках, так и гауссов (нормальный) характер переноса. (Примечательно, что переход к нормальному закону распределения происходит при уменьшении внешнего электрического поля; в нашем контексте это могло бы значить, что утрачивается внутренний порядок, характерный для негауссовых систем).

После приведенного обзора можно позволить себе шутку, что такое разнообразие подходов, пожалуй, само потихоньку превращается в ценоз. Видно, что единой точки зрения нет. Наверное, это не случайно, и не связано лишь с тем, что теория находится в стадии становления. Возможно, это – проявление некоторой многосложности, нечеткости и в некоторой степени условности этих образований.

Ценозы не строятся на жестких внутренних причинно-следственных связях, поэтому как объекты исследования они уже по своей природе содержат неопределенность. В то же время, в отличие от гауссовых систем, целевые отношения между элементами (особями) ценоза уже присутствуют. Следовательно, чем больше элементов – тем больше разнообразных связей, а, значит, тем выше дисперсия, которая в пределе стремится к бесконечности. Последнее обстоятельство как раз и определяет статистическое отличие негауссовых систем от гауссовых, а именно, степенной характер функции распределения (1). Удаленность от гауссова распределения в сторону негауссова можно рассматривать, как показатель структурированности системы, обширности ее внутренних связей. Подходящим параметром на роль критерия удаленности может выступать показатель степени β в выражении (1), уменьшение которого увеличивает «тяжесть хвоста» рассматриваемого распределения.

Следует заметить, что, по мнению основоположника *технетики*, профессора Кудрина [30], ценоз называть *системой* не следует, ибо ценоз – это *сообщество* элементов (правда, не всякие сообщества есть ценозы, но лишь те, внутри которых складываются слабые взаимодействия). Трудно сказать, будет ли широко принята эта точка зрения, ведь давно устоялись такие понятия как «экосистема», «социальная система», «система экономических связей» и т.д. Приведем определение из Большой Советской Энциклопедии: «Система (от греч. *systema* – целое, составленное из частей; соединение), множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг

с другом, которое образует определённую целостность, единство», а также еще одно определение видного системщика академика П.К. Анохина [31]: «Системой можно назвать только такой комплекс избирательно извлеченных компонентов, у которых взаимодействия и взаимоотношения принимают характер взаимосодействия компонентов на получение фокусированного полезного результата». Думается, что взгляд на ценоз как на систему не противоречит данным определениям.

Ценологическая точка зрения на порядок вещей во многих сферах исследования дает в руки необходимую методологическую основу и некоторые практические возможности. На его основе сформулированы принципы оптимальной стратегии развития систем электропотребления регионов [32], осуществлен прогноз залежей меди, свинца, золота и урана [33], оценена перспективность доразведки газовых месторождений [34], разработан инструмент для измерения экологического благополучия на заданной территории [35] и др.

Видится перспективным использование ценологического подхода к исследованию такого класса сложных систем как *активные* системы. В отличие от *пассивных*, активные системы содержат хотя бы один элемент (субъект), наделенный *свойством активности*. Такой элемент обладает свободой выбора цели, свободой выбора способа ее достижения, а также субъективной оценкой своих действий (рефлексивностью).

Можно утверждать, что поведение активной системы подчинено реализации собственных или корпоративных интересов в условиях внешних и внутренних ограничений. Если субъект вынужден строго исполнять директивные предписания, навязанные ему извне, то такая система становится скорее уже пассивной.

Теория активных систем развивается около сорока лет. Продолжительное время ее основными инструментами исследования являлись теория игр и имитационное моделирование [36]. В последние годы к изучению динамики активных систем стал применяться вариационный подход [37,38], в основе которого лежит принцип максимума энтропии *распределения субъективных предпочтений*.

Чтобы исследовать активную систему на предмет устойчивости, эффективности, или осуществлять ее целенаправленное управление, необходимо понимать, как *активный элемент* производит свой выбор. В этом и состоит ключевая проблема теории активных систем. Некоторое время в науке господствовал *принцип рационального выбора*. В соответствии с ним как отдельный субъект, так и организация осуществляют свой выбор из условия *максимизации пользы или прибыли*. Активный элемент, принимающий такие оптимальные решения, должен быть абсолютно объективным и логичным, обладать практически полной информацией, а его мозг, работая как кибернетическое устройство, должен непрерывно вычислять.

На основе этого принципа возникла, в частности, *теория полезности*.

Позже, с появлением работ американского экономиста, лауреата Нобелевской премии Герберта

Саймона [39,40], на смену принципа рационального выбора пришел более реалистичный *принцип ограниченной рациональности*. В соответствии с ним субъект осуществляет перебор альтернатив до момента нахождения первого приемлемого варианта. Выбор может быть возобновлен при достижении нового порогового уровня приемлемости.

По теории Саймона человек чаще всего выбирает стереотипно, он может просто не реагировать на новую поступающую к нему информацию, хотя в случае удаи – мог бы получить дополнительную выгоду. Он предпочитает остановиться на удовлетворившем его варианте выбора, чем в условиях неопределенности тратить время и средства на проверку достоверности данных, или осуществлять сравнительные процедуры.

В книге [41] С. Пущин пишет: «...мозг работает на иных, отличных от кибернетических принципах. Он способен решать задачи с нечеткой постановкой...Сознание само по себе по себе организовано как ценоз. В нем нет жестких связей между элементами». В самом деле, даже короткий взгляд на то, как осуществляется субъективный выбор, позволяет увидеть почти все вышеперечисленные механизмы, приводящие к негауссовому распределению, свойственному ценозам. Здесь видны – и конкуренция альтернатив, и ветвящийся процесс (рождение и отсеивание гипотез), и фрактальное самоподобие (повторение, стереотипные решения), и энтропийные принципы, проявляющиеся в стремлении субъекта решить проблему оптимально ценой минимальных затрат. Все перечисленное в какой-то степени характеризует процесс принятия субъективного решения, поэтому ценологический подход, возможно, даст определенный прогресс в развитии теории активных систем.

Выводы

Негауссовы распределения, подчиняющиеся степенному (гиперболическому) закону (1), характерны для обширного круга природных и социальных явлений.

Сложные системы, которым свойственен подобный тип распределений, составляют класс под названием ценозы. Для них характерно наличие нежестких внутренних связей, возможность достаточной свободы трансформации этих связей, а также своя направленная сфокусированность. Ценозы обладают свойством внутреннего самоподобия (фрактальности), они устойчивы и способны эффективно адаптироваться к внешним воздействиям.

Существует множество взглядов на механизмы формирования именно гиперболического закона распределений (выше приводится более десятка подходов объяснения закона Ципфа), что свидетельствует о многосложности организации этих систем. Очевидно, некоторые из этих механизмов формируют и способность ценозов к самоорганизации.

Представляется перспективным использование ценологического подхода и в теории активных систем ввиду негауссовости свойств активного элемента, осуществляющего процедуру выбора.

Литература

1. Гнеденко, Б. В. Предельные распределения для сумм независимых случайных величин [Текст] / Б. В. Гнеденко, А. Н. Колмогоров. – М. – Л., 1949. – 264 с.
2. Орлов, Ю. К. Невидимая гармония [Текст] / Ю. К. Орлов // Число и мысль. – 1980. – вып.3. – С. 70–106.
3. Андерсон, К. Длинный хвост. Новая модель ведения бизнеса [Текст] / К. Андерсон – М.: Вершина, 2008. – 272 с.
4. Хайбуллов, Р. А. Ранговый анализ космических систем [Текст] / Р. А. Хайбуллов // Известия главной астрономической обсерватории в Пулково. – 2009. – №219, вып. 3. – С. 95-104.
5. Фуфаев, В. В. Экономический ценоз организаций [Текст] / В. В. Фуфаев. – Москва.: Абакан, 2006. – 76 с.
6. Орлов, Ю. К. Невидимая гармония [Текст] / Ю. К. Орлов // Число и мысль. – 1980. – Вып. 3. – С. 70-105.
7. Гурина, Р. В. Ранговый анализ педагогических систем (ценологический подход) [Текст] : Методические рекомендации для работников образования. /Р. В. Гурина. – М.: Технетика, 2006. – 40 с.
8. Никитина, Е. Ю. Применение математических методов при исследовании криминологических данных (на примере Японии). Россия и АТР [Текст] / Е. Ю. Никитина, М. А. Гузев. – 2009. – №2, – С. 77-85.
9. Кудрин, Б. И. Введение в технетику [Текст] / Б. И. Кудрин. – Томск.: Томск, 1993. – 552 с.
10. Кудрин, Б. И. Математика ценозов: видовое, ранго-видовое, ранговое по параметру гиперболические Н-распределения и законы Лотки, Ципфа, Парето, Мандельброта [Текст] / Б. И. Кудрин // Центр системных исследований. Ценологические исследования. – 2002. – Вып. 19. – С. 357-412.
11. Zipf, G. K. Human behavior and the principle of least efforts [Text] / G. K. Zipf. – Cambridge (Mass): Addison-Wesley Press, XI. 1949. – 574 p.
12. Мандельброт, Б. Теория информации и психолингвистическая теория частот слов [Текст] / Б. Мандельброт // Математические методы в социальных науках. – М. : Прогресс, 1973. – С. 316–337.
13. Mitzenmacher, M. A brief history of generative models for power law and lognormal distributions [Text] / M. Mitzenmacher // Internet Mathem. – 2003. – №2, – P. 226.
14. Simon, H. A. On a class of skew distribution functions [Text] / H. A. Simon // Biometrika. – 1955. - Vol.42, №3-4. – P. 425-440.
15. Левич, А. П. Феноменология, применение и происхождение ранговых распределений в биоценозах и экологии как источник идей для техноценозов и экономики [Текст] / А. П. Левич // Математическое описание ценозов и закономерности технетики. – 1996. – С. 93-105.
16. Арапов, М. В., Шрейдер Ю.А. Закон Ципфа и принцип диссимметрии системы [Текст] / М. В. Арапов, Ю. А. Шрейдер // Семиотика и информатика. – 1978. – Вып. 10. – С. 74-95.
17. Голицин, Г. А., Левич, А. П. Принцип максимума информации и вариационные принципы в научном знании [сетевой ресурс] – http://www.chronos.msu.ru/REPORTS/golitsin_princip.htm.
18. Луценко, Е. В. Универсальный информационный вариационный принцип развития систем [Текст] / Е. В. Луценко // Квантовая Магия. – 2008. – том 5, вып. 4. – С. 4201-4267.
19. Чернавский, Д. С., Никитин А.П., Чернавская О.Д., О механизмах возникновения распределения Парето в сложных системах. [Текст] / Д. С. Чернавский, А. П. Никитин, О. Д. Чернавская. – М. : ФИАН, 2007. – 17 с.
20. Трубников, Б. А., Трубникова О. Б. Пять великих распределений вероятностей [Текст] / Б. А. Трубников, О. Б. Трубникова // Природа. – 2004. – № 11. – С. 13–20.
21. Ватутин, В. А. Ветвящиеся процессы в случайной среде и бутылочное горло эволюции [Текст] / В. А. Ватутин // Семинар «Математика и ее приложения» Математического института им. В. А. Стеклова РАН 20 января 2005г. 16: [сетевой ресурс] – http://www.mathnet.ru/php/seminars.phtml?presentid=85&option_lang=.
22. Колесник, И., Боровская Т., Северилов В., Михайлова И. Математические модели активных систем. Исследование ветвящихся процессов [Текст] / И. Колесник, Т. Боровская, В. Северилов, И. Михайлова [сетевой ресурс] - <http://knol.google.com/k/ирина-колесник/-/16w02k60ur5gy/0#comments>.
23. Яблонский А. И. Математические модели в исследовании науки [Текст] / А. И. Яблонский. – М. : Наука, 1986. – 395 с.
24. Феллер, В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения [Текст]. Том 2. – М.: Мир, 1967. – 765с.
25. Буховец, А. Г. Системный подход и ранговые распределения в задачах классификации [Текст] / А. Г. Буховец // Вестник ВГУ, серия «Экономика и управление». – 2005. – № 1. – С. 130-140.
26. Fama E. F. The behavior of stock-market prices [Text] / E. F. Fama // The Journal of Business. – 1965. – Vol.38, №1. – P. 34-105.
27. Пузаченко, Ю. Г. Семантические аспекты биоразнообразия [Текст] / Ю. Г. Пузаченко, А. Ю. Пузаченко // Журнал общей биологии. – 1996. – Т. 57, №1. – С. 1-43.
28. Самсонов, А. Л. Козволюция – что это такое? [Текст] / А. Л. Самсонов // Экология и жизнь. – 2010. – №4. – С. 4-12.
29. Сибатов, Р. Т. Дробно-дифференциальный подход к описанию дисперсионного переноса в полупроводниках [Текст] / Р. Т. Сибатов, В. В. Учайкин // Успехи физических наук. – 2009. – Том 179, №10. – С. 1079-1104. (в сети: <http://ufn.ru/ru/articles/2009/10/c/>).
30. Кудрин, Б. И. Два открытия: явление инвариантности структуры техноценозов и закон информационного отбора [Текст] / Б. И. Кудрин // Ценологические исследования. Технетика. – 2009. – Выпуск 44 (в сети: <http://www.kudrinbi.ru/public/108-01/index.htm>).

31. Анохин, П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем / П. К. Анохин // От моделей поведения к искусственному интеллекту. – 2006. – С. 9-60.
32. Фуфаев, В. В. Ценологическое определение параметров электропотребления, надёжности, монтажа и ремонта электрооборудования предприятий региона [Текст] / В. В. Фуфаев. – М. : Центр системных исследований, 2000. – 320 с.
33. Tapp, V. A., Koiuszko V. Application of Zipfs law to mineral distribution patterns in the northern Australian orogenic provinces. - Proc.11 th Commonw. Mining and Met. Congr. Hong, 1978, London, 1979. – p. 261-268.
34. Семиходский, Г. Е. Прогноз газоносности ДДВ на основе статистических данных [Текст] / Г. Е. Семиходский, Ю. В. Тимошин // Геология нефти и газа. – 1982. – №7. – 8 с.
35. Максимов, В. Н., Концепция выявления стрессовых состояний водных экосистем методом ранговых распределений и экологически допустимые уровни загрязняющих веществ для водоемов р. Элиста [Текст] / В. Н. Максимов, Л. В. Джабруева, Н. Г. Булгаков, А. Т. Терехин // Водные ресурсы. – 1997. – Т. 24, № 1. – С. 79–85.
36. Бурков, В. Н. Теория активных систем: состояние и перспективы [Текст] / В. Н. Бурков, Д. А. Новиков. – М. : Синтез, 1999. – 128 с.
37. Касьянов В. А. Элементы субъективного анализа [Текст] / В. А. Касьянов – К. : НАУ, 2003. – 224 с.
38. Касьянов В. А. Субъективный анализ: Монография [Текст] / В. А. Касьянов. – К. : НАУ, 2007. – 512 с.
39. Саймон, Г. А. Теория принятия решений в экономической теории и науке о поведении [Текст] / Г. А. Саймон // Теория фирмы. – 1995. – С. 54 - 72.
40. Саймон Г. А. Характеристики ограниченной рациональности. Рациональное принятие решений в бизнесе [Текст] / Г. А. Саймон // Мировая экономическая мысль. Сквозь призму веков. Кн.1. – 2004. – Кн.1. – С. 331-339.
41. Пушин С. Л. Ценология – это просто [Текст] / С. Л. Пушин // Ценологические исследования. –2010. – Вып.45. – 68 с.
42. Хайтун С. Д. Негауссовость социальных явлений и эволюция [Текст] / С. Д. Хайтун // Электрификация металлургических предприятий Сибири. – 2005. – Вып.12. – С. 291-300.

Дано опис команд пакету logic системи комп'ютерної алгебри Maple. Розглянуто способи розв'язання деяких типових задач математичної логіки в Maple

Ключові слова: математична логіка, Maple

Дано описание команд пакета logic системы компьютерной алгебры Maple. Рассмотрены способы решения некоторых типовых задач математической логики в Maple

Ключевые слова: математическая логика, Maple

A description of the commands for the logic package of the computer algebra system Maple are given. The methods of solving some common mathematical logic problems with Maple are considered

Keywords: mathematical logic, Maple

УДК 510.6

СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОЇ АЛГЕБРИ В МАТЕМАТИЧНІЙ ЛОГІЦІ

Г.І. Бедратюк

Асистент

Кафедра програмної інженерії

Хмельницький національний університет

вул. Інститутська 11, м. Хмельницький, Україна,

29016

Контактний тел.: (03822) 4-90-43

E-mail: bedratyuk@ukr.net

1. Вступ

Система комп'ютерної алгебри Maple перший реліз якої випущений у 1981 році канадською фірмою Waterloo Maple, Inc., успішно поєднує символічні маніпуляції, обчислювальну математику, потужну графіку та зручну мову програмування. В силу своєї зручності та універсальності система Maple стала

незамінним інструментом наукових досліджень для багатьох вчених, інженерів та студентів. Останнім часом спостерігається активне проникнення систем комп'ютерної алгебри в освітній процес оскільки це дає можливість формування принципово нових технологій навчання [1,2,3]. Практично для кожного розділу математики в Maple розроблено окремі спеціалізовані пакети команд. В даній статті ми розгля-