

УДК 303.732.4

UDC 303.732.4

КОГНИТИВНЫЕ ФУНКЦИИ КАК АДЕКВАТНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ФОРМАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ**COGNITIVE FUNCTIONS AS THE ADEQUATE INSTRUMENT FOR THE FORMAL SUBMISSION OF CAUSE AND EFFECT ASSOCIATIONS**

Луценко Евгений Вениаминович
д.э.н., к.т.н., профессор
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Lutsenko Evgeny Veniaminovich
Dr. Sci.Econ., Cand. Tech.Sci., professor
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье рассматривается применение метода автоматизированного системно-когнитивного анализа и его программного инструментария – системы «Эйдос» для выявления причинно-следственных зависимостей из эмпирических данных. В качестве инструментария для формального представления причинно-следственных зависимостей предлагаются когнитивные функции. Когнитивные функции представляют собой многозначные интервальные функции многих аргументов, в которых различные значения функции в различной степени соответствуют различным значениям аргументов, причем количественной мерой этого соответствия выступает знание, т.е. информация о причинно-следственных зависимостях в эмпирических данных, полезная для достижения целей

In this article application of the method of computerized system-cognitive analysis and its programmatic tooling – system "Eidoses" for detection of cause and effect associations from the trial-and-error data is considered. In the capacity of a toolkit for the formal submission of cause and effect associations cognitive functions are tendered. Cognitive functions represent many-valued interval functions of many arguments in which one various value of function in a various degree match to various value of arguments, and the quantitative standard of this correspondence appears to be the knowledge, i.e. the information about cause and effect associations in the trial-and-error data, beneficial to a goal achievement

Ключевые слова: АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИСТЕМНО-КОГНИТИВНЫЙ АНАЛИЗ, БАЗА ЗНАНИЙ, КОГНИТИВНАЯ ФУНКЦИЯ, СЕМАНТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ, СИСТЕМА «ЭЙДОС»

Keywords: COMPUTERIZED SYSTEM-COGNITIVE ANALYSIS, KNOWLEDGE BASE, COGNITIVE FUNCTION, SEMANTIC INFORMATION MODEL, "EIDOS" SYSTEM

Проблема, решаемая практически во всех экспериментальных исследованиях, состоит в выявлении причинно-следственных зависимостей из эмпирических данных и формальном представлении этих зависимостей в аналитической форме, т.е. в форме математических функций.

В математике понятие причинно-следственной зависимости ассоциируется с понятиями «корреляция» и «функция». Поэтому возникают вопросы о соотношении этих понятий с понятиями: «данные», «информация» и «знания», «закономерность», «эмпирический закон» и «научный закон» и о том, каким методом и с помощью какого инструментария можно выявлять причинно-следственные зависимости в эмпирических данных и какой

вид функций является наиболее адекватным инструментом для их формального аналитического представления.

Сформулированная проблема усугубляется тем, что обычно исследователям приходится иметь дело с фрагментированными зашумленными данными больших размерностей, т.е. описывающих влияние на объект исследования большого количества: сотен и даже тысяч факторов различной природы (измеряемых в различных единицах измерения). Кроме того, в социально-экономических исследованиях, как правило, нет возможности повторения исследуемых ситуаций для восполнения отсутствующих данных и сочетаний факторов.

В данной работе для решения сформулированной проблемы предлагается применить метод автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализ), удовлетворяющий всем необходимым требованиям.

Этот выбор был обусловлен тем, что данный метод является непараметрическим, позволяет корректно и сопоставимо обрабатывать тысячи градаций факторов и будущих состояний объекта управления при неполных (фрагментированных), зашумленных данных различной природы, т.е. измеряемых в различных единицах измерения. Для метода АСК-анализа разработаны и методика численных расчетов, и соответствующий программный инструментарий, а также технология и методика их применения. Они прошли успешную апробацию при решении ряда задач в различных предметных областях [4]. Наличие инструментария АСК-анализа (базовая система "Эйдос") [5] позволяет не только осуществить синтез семантической информационной модели (СИМ), но и периодически проводить адаптацию и синтез ее новых версий, обеспечивая тем самым ее локализацию для других мест применения и отслеживание динамики предметной области, сохраняя тем самым высокую адекватность модели в изменяющихся

условиях. Важной особенностью АСК-анализа является возможность единообразной числовой обработки разнотипных по смыслу и единицам измерения числовых и нечисловых данных, в т.ч. текстовых и графических. Это обеспечивается тем, что нечисловым величинам тем же методом, что и числовым, приписываются сопоставимые в пространстве и времени, а также между собой, количественные значения, имеющие смысл количества информации или знаний, что позволяет сопоставимо обрабатывать их как числовые. При этом на первых двух этапах АСК-анализа числовые величины сводятся к интервальным оценкам, как и информация об объектах нечисловой природы (фактах, событиях, текстах) (этот этап реализуется и в методах интервальной статистики); на третьем этапе АСК-анализа всем этим величинам по единой методике, основанной на системном обобщении семантической теории информации А. Харкевича, сопоставляются количественные величины (имеющие смысл количества информации или знаний в признаке о принадлежности объекта к классу), с которыми в дальнейшем и производятся все операции моделирования (этот этап является уникальным для АСК-анализа).

АСК-анализ обеспечивает:

- *выявление* знаний о поведении сложной многопараметрической системы под действием большого количества факторов различной природы (измеряемых в различных единицах измерения) из эмпирических данных;
- *формализацию* этих знаний в форме баз знаний (с оценкой степени их адекватности);
- *применение* этих знаний для решения задач прогнозирования и поддержки принятия решений, т.е. управления (рисунок 1):

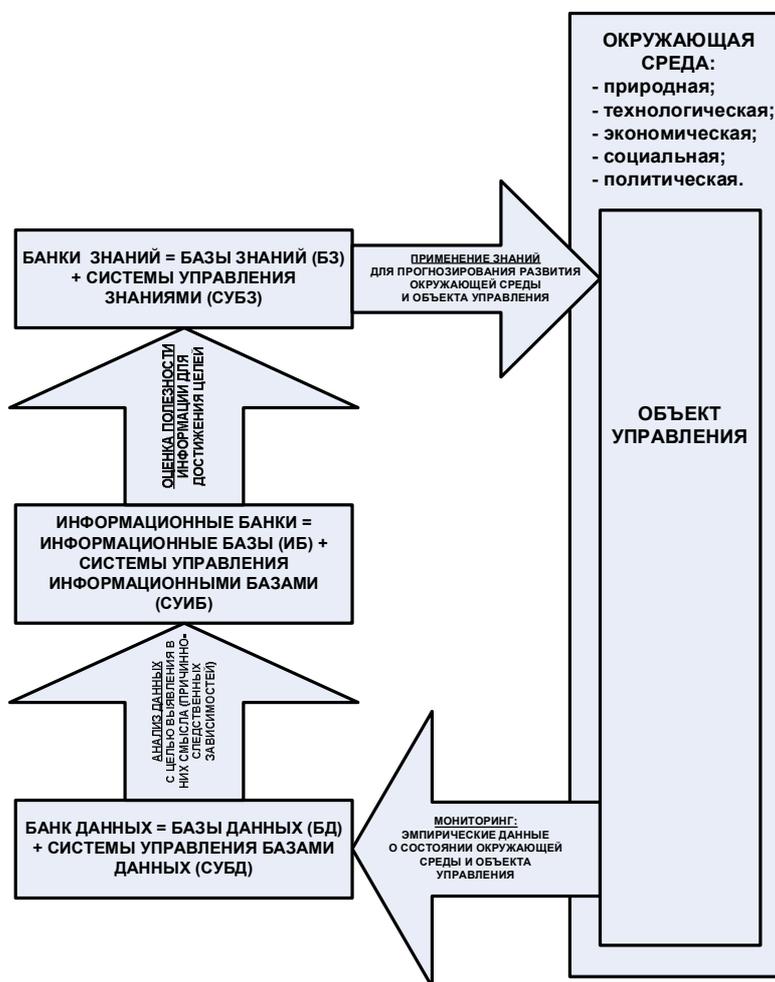


Рисунок 1. Цикл выявления знаний из эмпирических данных и их применения для прогнозирования и управления (принятия решений) в АСК-анализе

Поясним содержание понятий: «данные», «информация», «знания», а также «закономерность», «эмпирический закон» и «научный закон», «философский закон» с позиций естественно-научного метода (рисунки 2 и 3).



Рисунок 2. Соотношение понятий: «данные», «информация», «знания»

Под данными будем понимать информацию, записанную на любых носителях или находящуюся в каналах связи, рассматриваемую безотносительно к ее смысловому содержанию (семантике) [6]. Под информацией будем понимать осмысленные данные. Вслед за Шенком и Абельсоном [6] будем считать, что *смысл* тех или иных данных нам понятен тогда, когда известны причинно-следственные зависимости (*закономерности*) в них, т.е. есть тезаурус (толковый словарь). Таким образом, информация – это осмысленные данные, т.е. данные, в которых выявлены причинно-следственные закономерности. Под знаниями будем понимать информацию, полезную для достижения целей, т.е. для прогнозирования и поддержки принятия решений (управления). Остается добавить, что данные накапливаются в базах данных (БД) в результате *процедуры* мониторинга, информация получается из данных в результате их анализа и накапливается в информационных базах (ИБ) (автор предлагает «узаконить» этот термин), а знания получаются в результате оценки степени полезности информации для достижения целей и накапливаются в базах знаний (БЗ). Для манипулирования данными используются системы управления базами данных (СУБД), – информацией – системы управления информационными базами (СУИБ), – формализованными знаниями – системы управления базами знаний (СУБЗ), т.е. системы искусственного интеллекта. Из этого ясно, что данные, информация и знания измеряются в одних и тех же единицах, которые обычно называются единицами измерения информации, в частности: бит, байт и т.п.

Итак, *знания – это данные, в которых выявлены причинно-следственные зависимости (закономерности), полезные для достижения целей.*

В этой связи возникают закономерные вопросы о том:

– *каким методом* могут быть выявлены причинно-следственные зависимости (закономерности) в эмпирических данных и каково соотношение содержания понятий: «закономерность», «эмпирический закон», «научный (теоретический) закон» и «философский закон»;

– *какие математические понятия и конструкции* в наибольшей степени подходят для формализованного представления знаний (причинно-

следственных зависимостей) и насколько для этого подходят понятия «корреляция» и «функция».

Закономерность обычно понимают как конкретное проявление какого-либо закона. Например, это могут быть причинно-следственные закономерности, выявленные в процессе анализа некоторой выборки, которую мы будем называть обучающей выборкой, как это принято в АСК-анализе (рисунок 3):

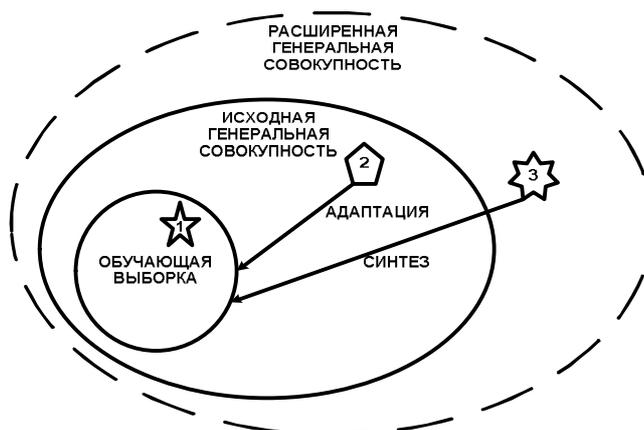


Рисунок 3. К пояснению смысла понятий: «закономерность» и «эмпирический закон»

Иногда эту выборку изучают для того, чтобы выявить закономерности, имеющиеся в ней самой. Но чаще таким путем стараются выявить закономерности, действующие в некоторой более широкой предметной области, чем сама исследуемая выборка. Если это удастся сделать, то говорят, что исследуемая выборка репрезентативна, т.е. адекватно представляет, эту некоторую более широкую предметную область, которая называется генеральной совокупностью. Если объект не входит в обучающую выборку, но входит в генеральную совокупность, по отношению к которой эта выборка репрезентативна, то он достоверно идентифицируется. Добавление такого объекта к обучающей выборке и адаптация модели приводит лишь к *количественному* уточнению смысла признаков и образов классов.

На этом основании считается, что *закономерности, найденные на примере исследуемой выборки, имеют более широкое действие и распространяются на всю генеральную совокупность, по отношению к которой эта исследуемая выборка репрезентативна, т.е. являются эмпирическими*

законами. Теоретическим отражением этого понимания является *обобщение* (распространение) закономерности, найденной по исследуемой выборке, на всю предметную область, по отношению к которой эта исследуемая выборка репрезентативна, т.е. на генеральную совокупность, и это приводит к формулировке *эмпирического закона*.

При этом важно, что сами *причины* существования найденных закономерностей и эмпирических законов, вообще говоря, неизвестны, *но этого и не требуется* для формулировки закономерностей и эмпирических законов, имеющих, таким образом, *феноменологический* характер. Эти причины проясняются при разработке *содержательной* теоретической интерпретации эмпирических законов и их обобщения до научных законов.

Таким образом, *эмпирический закон* представляет собой адекватную феноменологическую модель некоторой предметной области, в которой он позволяет успешно решать задачи идентификации, прогнозирования и принятия решений.

Если же обнаруживаются объекты (и явления), которые эмпирический закон не описывает адекватно, что приводит к ошибкам идентификации, то это означает, что они относятся к предметной области, выходящей за пределы генеральной совокупности, по отношению к которой исследуемая выборка репрезентативна. Добавление описаний этих объектов к обучающей выборке и синтез модели приводит к *качественному* изменению смысла признаков и обобщенных образов классов, а также к изменению самого их состава, при этом генеральная совокупность, по отношению к которой исследуемая выборка репрезентативна, расширяется *качественно*. Это означает, что возникает новая феноменологическая теория, более общая, чем предыдущая, снимающая ее (в смысле диалектики Г.В.Ф.Гегеля) и удовлетворяющая *принципу соответствия*.

Поэтому ученые, стремящиеся к качественному развитию имеющейся теории, должны в буквальном смысле слова «охотиться» за новыми фактами, которые не имеют объяснения в этой теории. В результате познания ученые формируют модели объекта познания, проверяют их адекватность, получая из них предсказания о существовании новых ранее неизвестных явлений, которые затем обнаруживаются на практике, на основании этого

ошибочно придают своим моделям онтологический статус (*гипостазирование*¹), т.е. начинают всерьез считать, что в реальности все устроено так, как это отражается в их абстрактных моделях, а затем и более того, ошибочно начинают считать, что в реальном мире нет ничего, кроме того, что может существовать в соответствии с этими моделями и «объясняется» ими. В результате этих двух ошибок познания человек практически начинает жить не в реальном мире, а в мире созданных им моделей реального мира (понимание этого – один из основных принципов НЛП), и «...принимает конец своего кругозора за конец света» (Шопенгауэр). Ясно, что «...чудеса противоречат не законам природы, а лишь нашему пониманию этих законов природы» (Ориген). Поэтому утверждения о не существовании тех или иных явлений, сделанные на том основании, что они невозможны с точки зрения той или иной теории, не должны считаться научными высказываниями. Кстати древние в этом отношении проявляли настоящую мудрость, например, когда они не отрицали существования Солнца на том основании, что им было непонятно, что там светится (правда, они ошибочно думали, что им это понятно).

Научный закон получается из эмпирического закона, когда находят «теоретическое объяснение»² *механизма и причин* его действия, согласующееся с другими уже известными законами или непосредственно, или по *принципу соответствия*³, и на основе этого теоретического объяснения *причин действия эмпирического закона методом научной индукции распространяют его на всю область, в которой действуют эти причины.*

Философские законы получают из научных законов, когда им придается статус *всеобщности, т.е. когда начинают считать, что эти законы верны всегда и везде, а не в какой-то ограниченной предметной области.*

¹ См., напр.: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/logic/57>

² Критерии того, что можно признать «теоретическим объяснением», на различных этапах развития общества и науки существенно изменялись, но всегда были гораздо строже используемых в быту и неспециалистами. Поэтому часто неспециалисты в быту признают некие «объяснения», которые учеными не признаются таковыми. Кроме того, само развитие науки закономерно приводит к повторению ситуации, когда некогда признаваемые ею самою объяснения, на последующих этапах развития науки уже не признаются таковыми.

³ <http://ru.wikipedia.org/wiki/Принцип%20соответствия>



Фрэнсис Бэкон (1561-1626).

Однако, как правило, развитие науки с течением времени приводит к обнаружению *границ применимости* и философских законов и тем самым к их превращению из умозрительных в научные законы, отражающие реальную предметную область. Обычно тогда же соответствующие разделы философии, начинают применять естественнонаучный метод (метод научной индукции), разработанный Фрэнсисом Бэконом, «отщепляются» от философии и становятся науками.

Так было практически со всеми науками, в т.ч. с натурфилософией, породившей последовательно физику, химию и биологию, и с философией истории, породившей научную историю, и с гносеологией, превратившейся в когнитивную психологию (психология познания). По-видимому, так будет и с основным вопросом философии после начала научного изучения различных форм сознания и научного определения критериев объективного и субъективного статуса существования различных явлений. Поэтому, по мнению автора, философские обобщения, в конечном счете, всегда необоснованны.

Учитывая вышесказанное можно сделать вывод о том, что, поскольку *знания – это данные, в которых выявлены причинно-следственные зависимости, полезные для достижения целей*, то знания могут быть выражены в форме эмпирических и научных законов.

Рассмотрим теперь, какие математические понятия в наибольшей степени подходят для формализованного представления знаний, выраженных в форме эмпирических и научных законов, и насколько для этого подходят понятия «корреляция» и «функция».

Обычно упрощенно считается, что корреляция отражает причинно-следственную зависимость, и это не смотря на то, что во всех учебниках объясняется, что это далеко не так.

Допустим, исследуется влияние значений некоторого фактора на переход объекта управления в различные состояния и при этом экспериментально установлено, что когда действует определенное значение фактора, то объект с вероятностью 95% переходит в некоторое состояние. Означает ли это, что действие этого значения фактора является причиной перехода объекта в данное состояние? Конечно же, нет. Дело в том, что возможно

объект с той же вероятностью переходит в это состояние и тогда, когда действует другое значение фактора или он вообще не действует.

Таким образом, для установления факта существования причинно-следственной зависимости необходимо исследовать корреляцию между действием значения фактора и переходом объекта в некоторое состояние, по крайней мере, в двух группах: исследуемой (экспериментальной), в которой фактор действует, и в контрольной, находящейся *в прочих равных условиях*, но в которой фактор не действует. Факт существования причинно-следственной зависимости устанавливается только в том случае, если действие определенного значения фактора повышает вероятность перехода в некоторое состояние в исследуемой группе *по сравнению с контрольной группой*, в которой это значение фактора не действует и это понижает вероятность этого перехода.

Однако исследование всего *двух* групп, экспериментальной и контрольной, позволяет установить, *да и то не всегда*, лишь сам *факт* наличия *линейной* причинно-следственной зависимости, т.к. 2 точки однозначно определяют полином 1-й степени, т.е. прямую линию.

Например, пусть причинно-следственная зависимость имеет вид, представленный на рисунке 4:

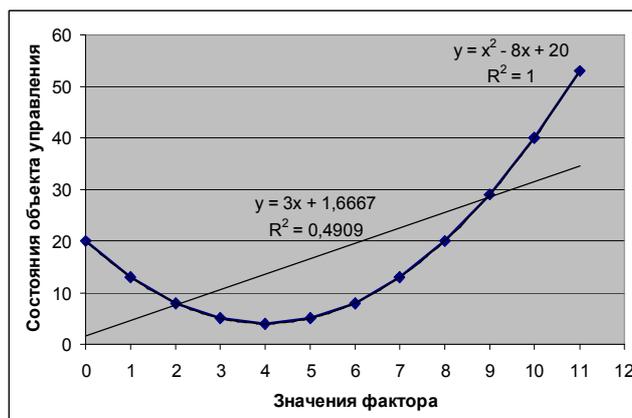


Рисунок 4. Пример вида причинно-следственной зависимости, факт наличия которой не всегда возможно установить путем исследования двух групп

Допустим, в контрольной группе фактор не действовал, а в исследуемой он имел значение 8, и, как мы видим из рисунка 4, в обоих случаях объект перешел в состояние 20, на основании чего мы можем сделать ошибочный вывод об *отсутствии* причинно-следственной связи между действием фактора и поведением объекта управления. Более удачный выбор

контрольной и исследуемой групп и действующих на них значений факторов позволит установить *факт* существования причинно-следственной зависимости, выраженной *линейным* трендом, причем при разном выборе исследуемой и контрольной групп будет получаться или *прямо* пропорциональная, или *обратно* пропорциональная зависимость, которые более-менее адекватно отражают вид реальной зависимости на различных диапазонах значений действующего фактора.

Если же мы исследуем не 2, а 3 группы, то получаемые в результате 3 точки однозначно определяют полином 2-й степени, и вообще, если исследуется N групп, то это однозначно определяет полином $(N-1)$ -й степени, т.е. позволяет установить уже не только сам *факт* существования, но *вид* этой зависимости.

Но в случае исследования многих групп, подверженных воздействию различных значений фактора, возникает вопрос о том, что в этом случае обоснованно рассматривать в качестве контрольной группы? В АСК-анализе при исследовании большого количества групп в качестве контрольной группы (нормы или базы сравнения) выступает *среднее по всей выборке*, с которым и сравнивается *каждая* группа. Таким образом, можно сделать обоснованный вывод о том, что *формула А.Харкевича (1) устанавливает не корреляцию, а причинно-следственную связь и является не семантической мерой информации, как называл ее сам А.Харкевич, а количественной мерой знаний об этих связях.*

$$I_{ij} = K \times \text{Log}_2 \frac{P_{ij}}{P_j} \quad (1)$$

где: I_{ij} – количество знаний в факте действия i -го значения фактора о том, что объект перейдет в j -е состояние;

– P_{ij} – условная вероятность перехода объекта в j -е состояние при условии действия i -го значения фактора;

– P_j – безусловная вероятность перехода объекта в j -е состояние, средняя по всей выборке, т.е. по всем значениям фактора;

– K – нормировочный коэффициент, обеспечивающий измерение количества знаний в битах [4].

Использование математического понятия функции представляет собой наиболее естественный и очевидный способ формального представления эмпирических и научных законов. Но все же возникает вопрос о том, насколько стандартное понятие функции подходит для этих целей?

В математике известно множество различных определений понятия функции⁴. История развития науки позволяет сделать обоснованный вывод о том, что понятие функции оказалось высокоэффективным средством формального представления *научных* законов, т.е. *классическое понятие функции пригодно для формального представления теоретических знаний*. Однако, по мнению автора, из этого само по себе совершенно не следует применимости понятия функции для формального представления знаний, содержащихся в феноменологических эмпирических законах.

Прежде всего, понятно, что абстрактная математическая функция, вообще говоря, может отражать *любую* зависимость, и *совершенно не обязательно эта зависимость является именно причинно-следственной, т.е. содержит знания о реальной области*. Дело в том, что математика абстрактна и в ней вообще нет понятия причинно-следственной зависимости (М.Р.Закарян, 2010). Понятие причинно-следственной зависимости появляется лишь в *конкретных* науках, исследующих реальную область и использующих математику в качестве средства ее *моделирования* и описания, прежде всего в физике, а также в других естественных и некоторых гуманитарных науках, таких как экономика, социология, психология, биология и другие. *Именно в конкретных науках абстрактные математические понятия насыщаются конкретным содержанием*. Иначе говоря, математическое понятие функции совершенно не тождественно понятию причинно-следственной зависимости⁵ и является лишь *средством формального отображения* как причинно-следственных зависимостей, так и абстрактных зависимостей, не содержащих знаний о конкретной реальной предметной области.

Для исследователя, использующего понятие функции для формального представления *эмпирических* законов, смысл функциональной зависи-

⁴ [http://ru.wikipedia.org/wiki/Функция%20\(математика\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Функция%20(математика))

⁵ <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/9184.html>

мости состоит, прежде всего, в том, что в значении аргумента содержится определенное количество информации или знаний о том, какое значение примет функция. В принципе можно считать, что по значениям аргумента распознается, идентифицируется или прогнозируется значение функции [7]. Вообще говоря, одному значению аргумента для функций одного аргумента (или набору значений аргумента для функций многих аргументов) соответствует множество значений функции, но соответствует они *в различной степени*. Уже одно это убедительно свидетельствует о необходимости использования *нечетких многозначных функций* для исследования реальной области. При этом *степень соответствия* определенного значения функции некоторому значению аргумента выражается *количеством информации*, содержащимся в значении аргумента о значении функции. Некоторое определенное значение аргумента в различной степени обуславливает различные значения функции, и эта степень выражается *количеством информации*, содержащимся в значении аргумента о значении функции.

Естественные науки основаны на измерениях и на интеллектуальном анализе результатов этих измерений. Понятие «измерение» в истории науки эволюционировало вместе с самой наукой и в этой эволюции можно выделить несколько этапов:

- определение наличия некоторого *качества* у объекта измерения;
- получение одного *числа*, количественно характеризующего *степень проявления* некоторого качества объекта измерения;
- получение одного числа, количественно характеризующего *степень проявления* некоторого качества объекта измерения, а также получение *погрешности* определения этого числа и определение некоторого «*доверительного интервала*», в который «*истинное значение числа*» попадает с определенной заданной вероятностью;
- получение *набора чисел* с доверительными интервалами для каждого из них, т.е. получение *статистического (вероятностного) распределения и изучение зависимости его параметров (прежде всего среднего и отклонений от среднего) от действующих на измеряемый объект факторов*;

– получение причинно-следственных зависимостей, феноменологических эмпирических законов, и отражение их в форме когнитивных зависимостей.

С этой точки зрения все научные установки для проведения экспериментов, по сути, являются *информационно-измерительными системами (ИИС)*, т.е. позволяют получить информацию об объекте исследования, его свойствах и состояниях. Таким образом, в *теории измерений* результатом измерения считается не число, а некий *интервал*, центром которого является число, а границы интервала определяются числом и погрешностью его измерения (число \pm погрешность).

Чем больше погрешность измерений, тем больше неопределенность в наших знаниях об истинном значении числа, тем меньше информации получено об истинном значении числа в результате измерения. И наоборот, чем меньше погрешность, тем меньше неопределенность знаний о значении числа и тем больше информации об этом значении получено в результате измерений. В *статистике* используется понятие доверительного интервала, в который истинное значение числа попадает с определенной заданной вероятностью. Чем меньше величина доверительного интервала, тем с большей вероятностью в нем содержится истинное значение случайной величины, тем меньше неопределенность в наших знаниях об этом значении и тем больше информации о истинном значении, и наоборот, чем меньше у нас знаний, тем больше их неопределенность, больше величина доверительного интервала и меньше количество знаний (информации). Если количество знаний стремится к нулю, то их неопределенность и величина доверительного интервала стремятся к бесконечности, и наоборот, при стремлении доверительного интервала или погрешности измерения к нулю количество знаний об истинном значении измеряемой величины стремится к бесконечности.

Так если в таблицах В.М.Брадиса значения синуса приведены с четырьмя знаками после запятой, и мы знаем, что эти значения лежат в диапазоне: $\{-1, +1\}$, то это означает, в этом диапазоне мы *различаем* 20000 значений синуса, откуда следует, что этот диапазон разделен нами на 20000 интервалов. Поэтому при получении значения синуса из таблицы

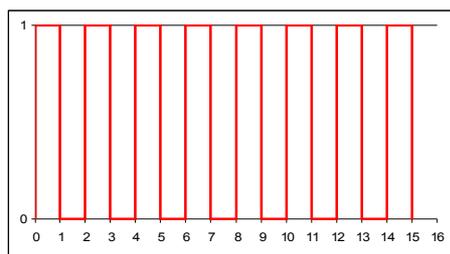
Брадиса, соответствующего заданному аргументу с точностью до 4-х знаков после запятой, мы получаем количество информации $I = \log_2 N$, где $N = 20000$, т.е. $I = 14.28778$ бит.

Рассмотрим еще два примера:

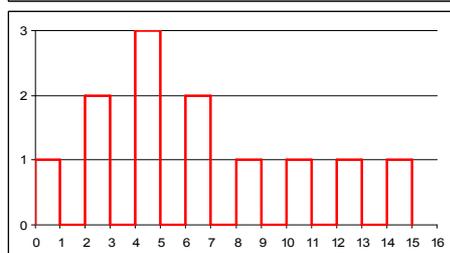
– 1-й, иллюстрирующий расчет количества информации в значении аргумента о значении функции для четкой однозначной функции, т.е. когда каждому значению аргумента четко соответствует *единственное* значение функции;

– 2-й, иллюстрирующий расчет количества информации в значении аргумента о значениях функции для нечеткой многозначной функции, т.е. когда каждому значению аргумента в различной степени соответствует множество значений функции.

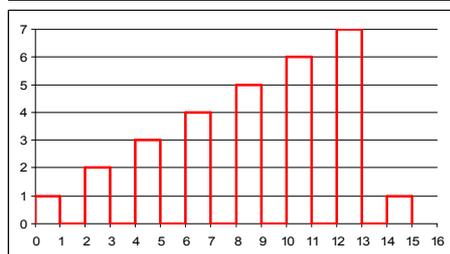
Пример 1-й. На рисунке 5 представлены 3 функции с разным количеством интервалов, на которые разделен диапазон изменения значений функции. Если диапазон изменения значений функции разделен на N интервалов, то в каждом значении аргумента согласно формуле Хартли содержится $I = \log_2 N$ информации о значении функции.



Если функция принимает $N=2$ значения: $\{0, 1\}$, то в каждом значении аргумента содержится 1 бит информации о значении функции;



Если функция принимает $N=4$ значения: $\{0, 1, 2, 3\}$, то в каждом значении аргумента содержится 2 бита информации о значении функции;



Если функция принимает $N=8$ значений: $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$, то в каждом значении аргумента содержится 3 бита информации о значении функции.

Рисунок 5. Количество информации в значении аргумента о значении функции для четкой функции при разбиении диапазона изменения функции на различное количество интервалов

Яркими примерами, иллюстрирующими информационную сущность функций, являются цифровое кодирование звука и цвета в компьютерах при оцифровке (квантовании) и воспроизведении звука и изображений с различной глубиной квантования⁶ или битностью. «Не следует путать квантование с дискретизацией (и, соответственно, шаг квантования с частотой дискретизации). При дискретизации изменяющаяся во времени величина (сигнал) замеряется с заданной частотой (частотой дискретизации), таким образом, дискретизация разбивает сигнал по временной составляющей (на графике — по горизонтали). Квантование же приводит сигнал к заданным значениям, то есть, разбивает по уровню сигнала (на графике — по вертикали). Сигнал, к которому применены дискретизация и квантование, называется цифровым»⁷.

Для абстрактных математических функций, для которых считается, что значения и аргумента, и функции известны *абсолютно точно* (т.е. с бесконечным количеством знаков после запятой) это количество информации в значении аргумента о значении функции также получается *бесконечным*, т.е. фактически для таких функций диапазон изменения функции разделен на *бесконечное* количество бесконечно-малых интервалов.

Естественно, при исследовании реальной области это невозможно, по крайней мере, по следующим трем *фундаментальным* причинам.

1. Прежде всего, не хватит никаких объемов и количества реальных носителей информации для точной записи чисел, не хватит также пропускной способности никаких реальных каналов передачи информации для их записи и чтения, не хватит и времени для записи этой информации ни по каким реальным каналам.

2. В соответствии с теоремой В.А.Котельникова⁸ об отсчетах, получение *точно* значения функции по *любому* значению аргумента предполагает бесконечное количество отсчетов, связывающих значения аргумента и соответствующие им значения функции, т.е. предполагается бесконечный спектр функции, что невозможно для реальных функций.

3. В результате измерений получается информация о состоянии исследуемого объекта, т.е. измерение имеет *информационную сущность*. Однако соотношение неопределенности Гейзенберга⁹ и следствия из него¹⁰

⁶ [http://masu-inform.ru:8888/index.php/Квантование%20\(обработка%20сигналов\)](http://masu-inform.ru:8888/index.php/Квантование%20(обработка%20сигналов))

⁷ [http://ru.wikipedia.org/wiki/Квантование%20\(информатика\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Квантование%20(информатика))

⁸ <http://ru.wikipedia.org/wiki/Теорема%20Котельникова>

⁹ <http://ru.wikipedia.org/wiki/Принцип%20неопределённости%20Гейзенберга>

накладывает *принципиальное фундаментальное* ограничение на максимальный объем информации, который может быть получен в результате физических измерений (конечное доступное количество информации Фишера).

Пример 2-й.

Одни и те же значения функции могут наблюдаться при различных значениях аргумента, в результате чего получается, что:

– чем более уникальным является значение функции, тем больше информации о нем содержится в соответствующих значениях аргумента, т.е. тем более жестко они детерминируются;

– чем чаще наблюдаются значения функции, тем меньше о них информации в соответствующих значениях аргумента, т.е. тем менее жестко (четко) они детерминируются.

Это наглядно видно из рисунка 6, в котором степень детерминации значения функции значением аргумента показана различными цветами: теплые цвета – высокая степень детерминации, холодные – низкая.

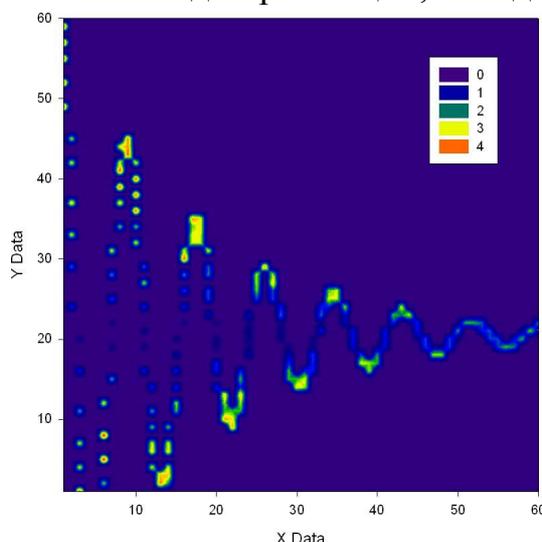


Рисунок 6. Количество информации в значении аргумента о значении функции для нечеткой взаимнооднозначной функции

Для визуализации матрицы информативностей использовалась система SigmaPlot for Windows version 10.0. Для преобразования матрицы информативностей в форму, удобную для использования в системе SigmaPlot, применялся режим _683 системы «Эйдос».

¹⁰ <http://ru.wikipedia.org/wiki/Информация%20Фишера>

На рисунке 7, взятом из работы [9], представлены две *нечеткие многозначные функции*, в которых каждому значению аргумента в различной степени соответствует много различных значений функции:

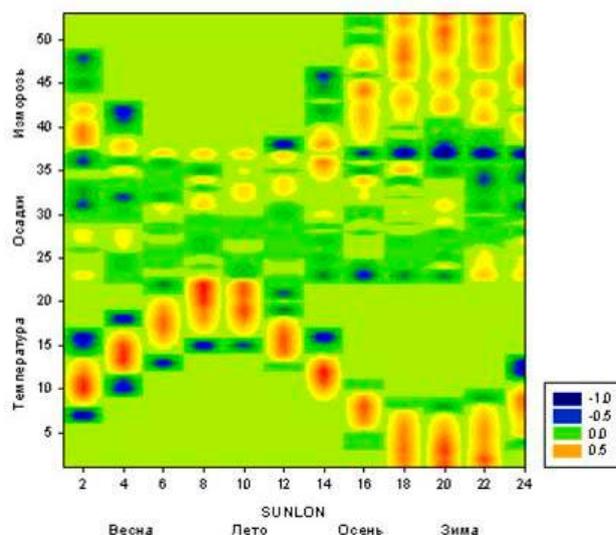


Рисунок 7. Количество информации в значении аргумента о значении функции для нечетких многозначных функций

Рисунок 7 построен на основе Оксфордской базы данных, содержащей среднемесячные метеоданные [9]. Красный цвет на рисунке соответствует *максимальному* количеству информации в номере месяца о соответствующей среднемесячной температуре, т.е. *высокой степени детерминации* в отображаемой причинно-следственной зависимости.

Из этого рисунка видно также, что зимой в Оксфорде заморозки более вероятны, чем летом, а осадки более вероятны летом, чем весной. Данные по осадкам менее информативны в сравнении с температурой, а данные по заморозкам (иней в воздухе), хотя и являются информативными, но обладают более существенной неоднозначностью, т.к. в разные годы число дней заморозков в данный месяц изменяется в более широких пределах, чем температура.

На рисунке 8, взятом из работы [19], представлена *когнитивная функция*, отражающая причинно-следственную зависимость объемов производства молока по всем категориям хозяйств АПК от доли оплаты труда в затратах:

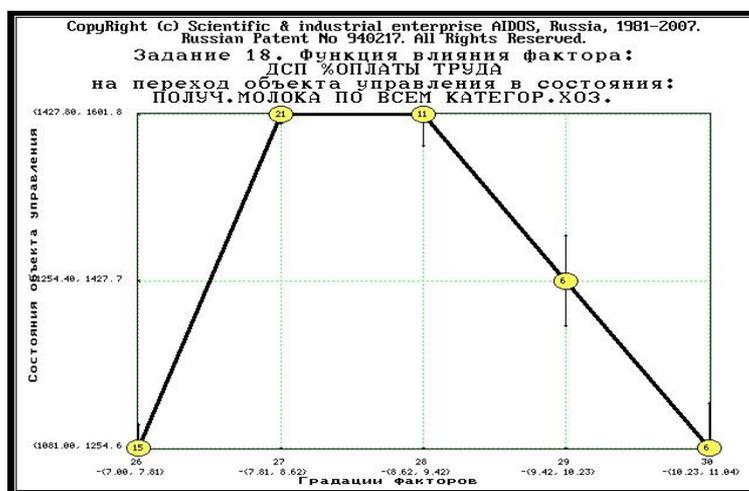


Рисунок 8. Когнитивная функция зависимости объемов производства молока по всем категориям хозяйств АПК от доли в затратах оплаты труда

Эта когнитивная функция визуализирована средствами системы «Эйдос». Уравнение регрессии ($R^2=1$), представляющее эту когнитивную функцию в аналитической форме, имеет вид:

$$y = 0,422x^4 + 39,72x^3 - 1414,9x^2 + 14447x - 45629$$

Таким образом, использование интервальных значений аргумента и функции позволяет с применением теории информации непосредственно на основе эмпирических данных рассчитать, какое количество информации содержится в каждом значении аргумента о каждом значении функции. При этом получается, что каждому значению аргумента соответствует не одно, а много значений функции, но соответствуют в различной степени.

При этом ход времени, т.е. процесс преобразования неопределенного многовариантного будущего в определенное безальтернативное настоящее, можно рассматривать как процесс *редукции* многозначных когнитивных функций, отражающих будущее (рисунок 7), в однозначные когнитивные функции, отражающие настоящее (рисунок 8). При этом при преобразовании неопределенного будущего в определенное настоящее происходит генерация информации, количество которой соответствует степени уменьшения неопределенности, точно также, как в процессе измерения или познания. Многозначные когнитивные функции аналогичны по смыслу волновой функции (функция плотности вероятности) квантовой механики (КМ) и квантовой теории поля (КТП), а преобразование многозначной когнитивной функции в однозначную аналогично процессу *редукции* волновой функции в процессе измерения.

Таким образом, информационная природа функций в общем понятная и даже более того – очевидна, особенно для специалистов в области информационных технологий. Тем более странно, что это пока не нашло никакого отражения в фундаментальной математике, в частности в математической теории функций. В теории нечетких множеств Лотфи А. Заде есть представление о различной степени соответствия функции аргументу¹¹. Однако проблемой остается определение степени этого соответствия на основе непосредственно эмпирических данных. Кроме того, Лотфи А. Заде не предложил содержательной интерпретации самого понятия «степень соответствия», независимого от реальной предметной области применения аппарата нечетких множеств, но при этом сопоставимого в различных исследованиях. Нет и методики численных расчетов (структур данных и алгоритмов работы с ними), независимого от реальной предметной области, а также реализующего эту методику универсального программного инструментария.

Поэтому автор предлагает развить математическое понятие функции с использованием теории информации и методов искусственного интеллекта, а также разработать соответствующие численные методы и реализующие их программные системы, обеспечивающие расчет подобных функций на основе непосредственно эмпирических данных. Представляется, что это может иметь большое значение, как для научной теории, так и для практики, основанной на науке. АСК-анализ и его инструментарий – универсальная когнитивная аналитическая система «Эйдос» являются результатом усилий автора в данном направлении исследований и разработок и может быть могут рассматриваться как один из вариантов или подходов к реализации этой программы.

*Введем определение когнитивной функции: когда функция используется для отображения причинно-следственной зависимости, т.е. информации (согласно концепции Шенка-Абельсона [6]), или знаний, если эта информация полезна для достижения целей, то будем называть такую функцию когнитивной функцией [7], от англ. «*cognition*»¹². Смысл когнитивной функциональной зависимости в том, что в значении аргумента содер-*

¹¹ [http://ru.wikipedia.org/wiki/Теория%20нечётких%20множеств%20\(Заде\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Теория%20нечётких%20множеств%20(Заде))

¹² <http://lingvo.yandex.ru/cognition/c%20английского/>

жится определенное количество знаний о том, какое значение примет функция, т.е. когнитивная функция отражает знания о полезных причинно-следственных зависимостях, а не корреляцию.

В общем случае когнитивные функции представляют собой нечеткие (интервальные) многозначные функции многих аргументов, сходные с функциями от области Н.М.Гюнтера¹³. Понятие когнитивных функций удовлетворяет принципу соответствия с классическим понятием функции, т.к. обычные точные классические математические функции представляют собой предельный случай когнитивных функций, а именно их можно рассматривать как однозначные детерминистские когнитивные функции, в которых в каждом значении аргумента содержится бесконечное количество информации о соответствующем значении функции.

Ясно, что точные функции представляют собой предельно общую абстракцию, т.к. предполагают доступность абсолютной истины, тогда как когнитивные функции отражают лишь определенную реально достигнутую степень приближения процесса познания к истине.

В системно-когнитивном анализе [4, 7, 8] развит аппарат выявления, визуализации и аналитического представления когнитивных функций, при этом когнитивные функции рассматриваются как нечеткие интервальные многозначные функции многих аргументов, с нечеткостью, рассчитанной на основе системной теории информации. Базовая система «Эйдос» [5, 10], система «Эйдос-астра» [11] и другие системы окружения базовой системы «Эйдос» реализуют соответствующие методики численных расчетов (алгоритмы и структуры данных) и формируют базы знаний (матрицы информативностей), которые и задают значения этих когнитивных функций с учетом нелинейности объекта моделирования, причем вычисляются они непосредственно на основе эмпирических данных. В качестве средства визуализации матрицы знаний используются соответствующие режимы системы «Эйдос», MS Excel, а также система SigmaPlot.

Выводы. Таким образом, когнитивные функции являются адекватным математическим инструментом для формального представления причинно-следственных зависимостей. Когнитивные функции представляют собой многозначные интервальные функции многих аргументов, в которых различные значения функции в различной степени соответствуют

¹³ <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/82236/Гюнтер%20Николай%20Максимович>

различным значениям аргументов, причем количественной мерой этого соответствия выступает знания, т.е. информация о причинно-следственных зависимостях в эмпирических данных, полезная для достижения целей.

Библиографический список

1. Полонский С.Ю. Стратегическое управление прибыльным ростом корпорации с учетом динамики потребительской ценности. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора экономических наук по специальности 08.00.05. – Санкт-Петербург, 2007 г., 32 с. –РИНЦ. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://elibrary.finec.ru/materials_files/refer/A6596_b.pdf

2. Киселев А.Г. Корпоративная и комплексная информационная система управления промышленного предприятия (КИС): учебник/ для студентов ВУЗов. – Новосибирск. – 2010г. – 408с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://akis46.narod.ru/itsu.html#1>

3. Сафаров А. «Правильный контроллинг»: мнение практика. Группа IntelCont, Журнал «Управленческий учет» № 1 2006 г., [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cfin.ru/management/controlling/correct_controlling.shtml

4. Луценко Е.В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ в управлении активными объектами (системная теория информации и ее применение в исследовании экономических, социально-психологических, технологических и организационно-технических систем): Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ. 2002. – 605с¹⁴.

5. Луценко Е.В. 30 лет системе «Эйдос» – одной из старейших отечественных универсальных систем искусственного интеллекта, широко применяемых и развивающихся и в настоящее время / Е.В. Луценко // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – №10(54). – Шифр Информрегистр: 0420900012\0110. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2009/10/pdf/04.pdf>

6. Луценко Е.В. Системно-когнитивный анализ как развитие концепции смысла Шенка – Абельсона / Е.В. Луценко // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2004. – №03(5). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2004/03/pdf/04.pdf>

7. Луценко Е.В. АСК-анализ как метод выявления когнитивных функциональных зависимостей в многомерных зашумленных фрагментированных данных / Е.В. Луценко // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2005. – №03(11). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2005/03/pdf/19.pdf>

8. Луценко Е.В. Системно-когнитивный анализ функций и восстановление их значений по признакам аргумента на основе априорной информации (интеллектуальные технологии интерполяции, экстраполяции, прогнозирования и принятия решений по картографическим базам данных) / Е.В. Луценко // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – №07(51). – Шифр Информрегистр: 0420900012\0066. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2009/07/pdf/06.pdf>

9. Трунев А.П. Прогнозирование сейсмической активности и климата на основе семантических информационных моделей / А.П. Трунев, Е.В. Луценко // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – №09(53). – Шифр Информрегистр: 0420900012\0098. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2009/09/pdf/09.pdf>

¹⁴ Для удобства читателей ряд работ из списка приведен на сайте автора: <http://lc.kubagro.ru/>

10. Луценко Е.В. Универсальная когнитивная аналитическая система «Эйдос» – современный инструмент синтеза и эксплуатации приложений управления знаниями. Актуальные проблемы и инновационные технологии управления корпорацией в экономике знаний: сб. науч. тр. / под ред. С.Г. Фалько. Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2010. Вып. 2. 321 с., С.231-267.

11. Луценко Е.В. «Эйдос-астра» – интеллектуальная система научных исследований влияния космической среды на поведение глобальных геосистем / Е.В. Луценко, А.П. Трунев // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №07(61). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/07/pdf/17.pdf>

12. Луценко Е.В., Коржаков В.Е., Лаптев В.Н. Теоретические основы и технология применения системно-когнитивного анализа в автоматизированных системах обработки информации и управления (АСОИУ) (на примере АСУ вузом): Под науч. ред. д.э.н., проф. Е.В.Луценко. Монография (научное издание). – Майкоп: АГУ. 2009. – 536 с.

13. Робертсон Б. Лекции об аудите качества: Пер. с англ. / Под общей ред. Ю. П. Адлера. Изд. 2-е, испр. – М.: Редакционно-информационное агентство "Стандарты и качество", 2000. – 264 с., илл.

14. Луценко Е.В. Интеллектуальная система прогнозирования последствий ошибочного конфигурирования системы безопасности MS Windows / Е.В. Луценко, В.Е. Коржаков, А.А. Дубянский // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №05(59). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/05/pdf/06.pdf>

15. Луценко Е.В. Интеллектуальное управление номенклатурой и объемами реализации в торговой фирме / Е.В. Луценко, В.Е. Коржаков, Д.С. Чичерин // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №05(59). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/05/pdf/08.pdf>

16. Луценко Е.В. Интеллектуальная консалтинговая система выявления технологических знаний и принятия решений по их эффективному применению на основе системно-когнитивного анализа бизнес-процессов / Е.В. Луценко, В.Е. Коржаков, А.И. Ладыга // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №05(59). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/05/pdf/07.pdf>

17. Луценко Е.В. Системно-когнитивный подход к разработке и применению профессиограмм путем решения обобщенной задачи о назначениях. // Инновационная экономика южного региона России: научное, технологическое и ресурсное обеспечение: материалы межрегион. науч.-практ. конф. 14 – 16 сентября 2009 года. Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2009, с. 99-103.

18. Луценко Е.В., Коржаков В.Е. Системно-когнитивный подход к построению корпоративной системы управления знаниями. Материалы межд. научн.-практ. конф. «Инновационная экономика южного региона России: кластеры, среды, процессы и проекты»: материалы Международной науч. Практ.конф. Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2010. 189 с., С.24-38.

19. Шеляг М.М. Системно-когнитивный анализ структуры затрат и объемов производства продукции в АПК (по материалам Краснодарского края) / М.М. Шеляг // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №04(58). – Шифр Информрегистра: 0421000012\0064. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/04/pdf/25.pdf>