

УДК 303.7

КОГНИТИВНЫЕ БАЙЕСОВСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

С. В. ПРОКОПЧИНА,
*профессор, доктор технических наук, Финансовый университет
при Правительстве Российской Федерации,
Москва, Россия*
E-mail: svprokopchina@mail.ru

Предложена концепция когнитивного Байесовского измерения в сети (CBMN) в условиях неопределенности. Основной основой концепции является регуляризация Байесовского подхода (РБА). Рассмотрены методологические аспекты когнитивного измерения для создания теоретической базы. Приведены основные объекты технологий системного синтеза. Среди них динамический компакт, модели с динамическими ограничениями. Системные масштабы с динамическими ограничениями. Разработаны примеры когнитивных измерительных технологий на "Инфо-аналитике". Рассмотрены практические примеры.

Ключевые слова: когнитивные Байесовские измерения в сети (CBMN), теоретическая база, технология системного синтеза, динамический компакт, модели с динамическими ограничениями.

Economic theory

COGNITIVE BAYESIAN MEASUREMENT NETWORKS FOR MODELING COMPLEX SYSTEMS UNDER UNCERTAINTY

S. V. PROKOPCHINA,
*Professor, Doctor of Technical Sciences, Financial University
under the Government of the Russian Federation,
Moscow, Russia*
E-mail: svprokopchina@mail.ru

The concept of the Cognitive Bayesian Measurement Network (CBMN) under the condition of uncertainty is suggested. The main basis of the concept is Regularizing Bayesian Approach (RBA). The methodological aspects of cognitive measurement for theoretical base creation are considered. The main objects of systemic synthesis technologies are given. Among them are dynamic compact, models with dynamic constraints, System Scales with dynamic constraints are suggested. The examples of cognitive measurement technologies on the "Infoanalyst" are developed. The practical examples are considered.

Keywords: cognitive Bayesian measurements in the network (CBMN), theoretical basis, system synthesis technology, dynamic compact, models with dynamic constraints.

Задачами системного синтеза являются получение интегральных оценок параметров, моделей сложных систем, оценок и моделей ситуаций, сценариев развития событий и других комплексных решений. В целом системный синтез, как процесс обработки информации, являет-

ся обратной задачей восстановления некоторых интегральных характеристик или образов реальных объектов по имеющейся информации. Таким образом можно определить системный синтез как процесс создания образа реального объекта по имеющейся информации.

В условиях достаточного полного объема информации, то есть в условиях определенности, задача системного синтеза сводится к определению параметров некоторых систем, например путем решения системы уравнений.

В условиях неопределенности, то есть неполной, нечеткой, неточной информации, решения получаются неустойчивыми и неадекватными реальным объектам.

Для формализации решения задач системного синтеза в условиях неопределенности предлагается следующая концепция.

Специфическим свойством задачи системного синтеза в условиях неопределенности является привлечение дополнительных знаний, косвенной информации, неформализованных знаний субъектов, например экспертов, модельеров, лиц, принимающих решения, в процессе получения решений. Учет этого свойства в методах решения задач системного синтеза придает им когнитивный характер.

На основании этого тезиса обобщенную динамическую модель реальной системы $G^{(o)}_t$ системного синтеза можно записать в следующем виде:

$$G^{(o)}_t = G^{(mo)}_t * G^{(so)}_t, \quad (1)$$

где $G^{(mo)}_t$ – модель реальной системы, полученная по имеющейся и поступающей информации (непосредственной и косвенной);

$G^{(so)}_t$ – дополняющая модель реальной системы, полученная на основании субъективной информации; символ $*$ обозначает свертку пространств (компактов) моделей, в которых они определены.

Процесс формирования модели может быть представлен в виде последовательности этапов сбора и обработки информации, получаемых из сети источников информации. Такая сеть может быть представлена в виде сети источников информации – агентов, в число которых входят источники информации и в виде технических устройств, и в виде субъектов. В алгоритмическом плане – это две активно взаимодействующие между собой сети, которые должны быть развиваемыми в процессе функционирования алгоритма решения задачи системного синтеза.

Для того чтобы решения задач системного синтеза были устойчивыми необходима регуляризация решений в пространстве некоторого их содержащего компакта.

К числу эффективных подходов к аналитической обработке информации в условиях неопределенности, который может обеспечить регуляризацию решений, относится регуляризирующий байесовский подход (РБП). используя методы и технологии на его основе можно развить концепцию системного синтеза до уровня алгоритмических решений.

Основными концептами РБП являются понятия динамического компакта, модели с динамическими ограничениями (МДО), шкал с динамическими ограничениями (ШДО) и регуляризованных байесовских оценок (РБО). РБП основан на трех фундаментальных подходах: системном подходе, измерительном подходе и байесовском подходе.

Системный подход обеспечивает решениям на основе РБП комплексный, интегральный характер. Измерительный подход путем введения метрологического обоснования и сопровождения обеспечивает регуляризацию всех компактов решений, что делает решения устойчивыми. Байесовский подход позволяет осуществлять вероятностную свертку различных информационных потоков и определять решения с минимумом среднего риска. Конструкции ШДО позволяют определять максимально достоверные многоальтернативные решения, на основании использования всех типов информации в динамическом режиме. Эти решения в рамках задач системного синтеза представлены в байесовских интеллектуальных технологиях (БИТ) в виде РБО ($h^{(co)}_t$) как свертка их свойств ($h^{(co)}_{it}$),

$i=1, I$; t – момент времени из интервала $(0, T)$ по модифицированной байесовской формуле [1–3] в виде:

$$h^{(co)}_t = *_{i=1, I} (h^{(co)}_{it}) \quad (2)$$

Для реализации уравнения (2) необходимо использовать новый тип ШДО – системные ШДО, которые отличаются от параметрических или функциональных ШДО видом реперов. Если в параметрических ШДО (ПШДО) реперы представляют собой числовые значения или лингвистические термы, в функциональных ШДО (ФШДО) реперами являются функции, то в системных ШДО в качестве реперов могут быть образы объектов, их модели (видео, аудио, графические и другие модельные образы), распределенные на системной ШДО (СШДО) на опреде-

ленном расстоянии в рамках меры и метрики в соответствии с требуемой точностью решения задачи системного синтеза, как определено в [1–3].

Обозначим интегральное пространство динамического компакта СШДО объекта как $S^{(o)}_t$, а пространства динамических компактов СШДО информации сетевых технических источников, числом K как $S^{(o)}_{tik}$ и источников субъективной информации от агентов-субъектов сети, числом L как $S^{(o)}_{til}$ для i -го уровня иерархической сети модели системного синтеза.

Тогда концептуальную модель интегрального пространства динамического компакта СШДО системного синтеза можно представить в виде:

$$S^{(o)}_t = *_{t=1,T} (*_{i=1,I} (*_{k=1,K} S^{(o)}_{tik}) * (*_{l=1,L} S^{(o)}_{til}))) \quad (3)$$

Уравнение (3) представляет единое метризованное регуляризованное информационное пространство решений задач системного синтеза.

Следующим этапом является ПШДО и ФШДО для каждого источника информации, включая и субъективные источники по технологиям БИТ, предложенных в работах автора, например в [1–3].

Необходимо отметить, что все эти решения носят условный характер, так как получены при конкретных объемах информации, критериях, ограничениях, метрологических и других требованиях.

Поэтому для управления качеством решения задач системного синтеза необходимо создавать параллельную основной вышеуказанной сети сеть метрологического сопровождения, для каждого решения определяющую комплексы метрологических характеристик точности, надежности, достоверности, рисков, показателей энтропии, количества информации, как показано в [1–3].

СШДО для субъектов-источников информации должны создаваться с ориентацией на его собственный когнитивный стиль [4, 5]. Такие шкалы создаются на основе принципов и технологий когнитивных измерений [1].

Модель с динамическими ограничениями для информационного потока, получаемого от субъекта как источника информации или как аналитика-решателя, определяющего решение из некоторого списка альтернатив или корректирующего информационно-измерительный процесс, определяется совокупностью свойств субъекта и его связей с окружающей средой.

Свойства субъекта представляют, как минимум, три группы свойств: свойства субъекта как специалиста в решении данной задачи Q_{sqt} , свойства субъекта как личности Q_{spt} , имеющие значение для решения данной задачи, свойства субъекта в иерархической структуре управления процессом решения Q_{smt} , определяющие важность, значимость и степень влияния его решений на итоговое решение задачи. Модель с динамическими ограничениями, учитывающая эти группы свойств, может быть представлена в виде:

$$Q_{ist} = Q_{sqt} * Q_{spt} * Q_{smt} \quad (4)$$

Уравнение (4) представляет собой обобщенную модель субъекта-агента сети системного синтеза. Для создания когнитивных СШДО для каждого субъекта необходима свертка его модели с информационными потоками, которые он генерирует.

Определив состав и структуру свойств субъекта, можно приступить к формированию измерительных шкал ШДО для измерения данных свойств. Для измерения количественных характеристик можно использовать числовые ШДО. Например, для измерения КПД котла теплогенерирующей организации конструкция ШДО приведена на рис. 1.

Для измерения качественных показателей рекомендуется использовать системные лингвистические ШДО (рис. 2, 3).

Извлечение знаний и умений субъекта по методологии БИТ реализуется средствами платформы «Инфоаналитик». «Инфоаналитик» представляет собой программную среду, предназначенную для быстрой разработки приложений, которыми могут быть экспертные системы различного назначения, системы поддержки принятия решений; системы мониторинга сложных объектов, процессов, ситуаций; системы контроля и аудита, системы управления, многокритериальные системы и другие. Основные компоненты регуляризирующего байесовского подхода (ДК, МДО, ШДО) реализованы в «Инфоаналитике» в виде объектов, которые создаются пользователем средствами создающихся комплекса программных модулей, имеющих усиленную поддержку интеллектуальным интерфейсом и когнитивной графикой. Примеры когнитивной графики, используемой в процессе аудирования состояний котельных приведены на рисунках 2–3 в виде разноцветных кружков, от-

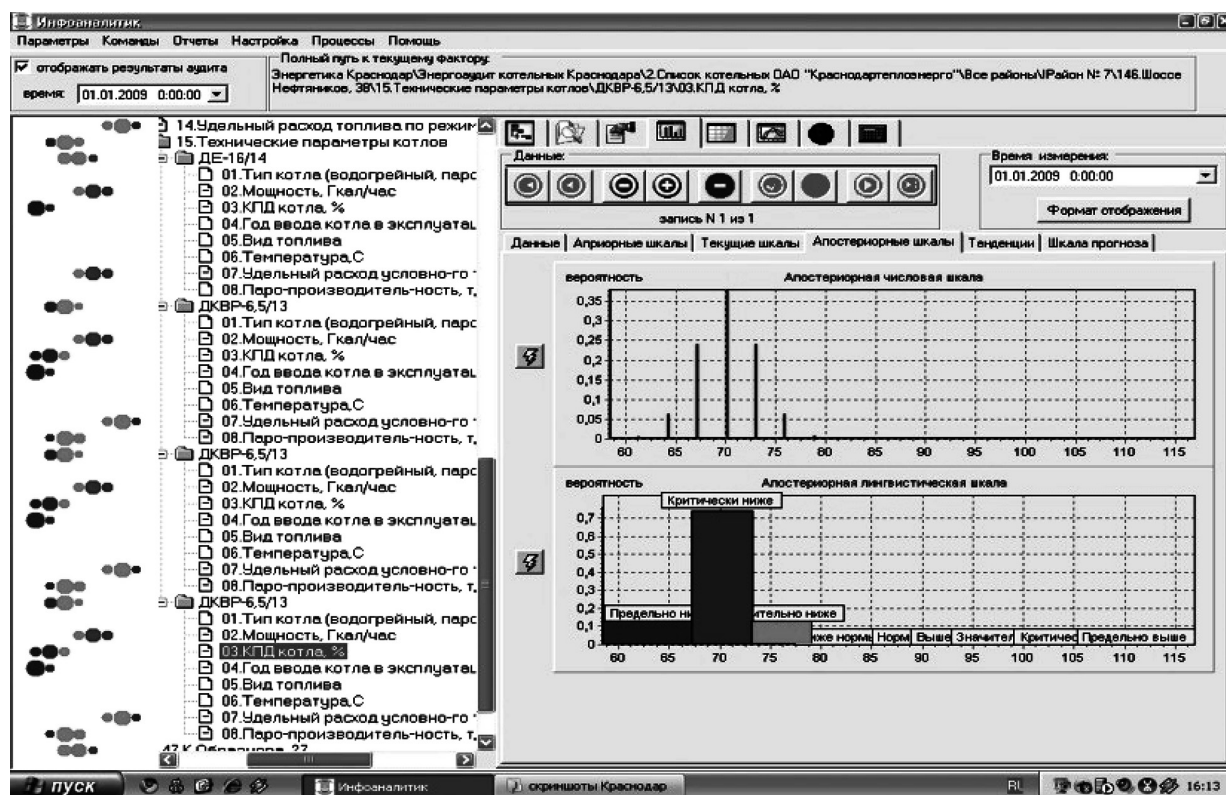


Рис. 1. Пример системной когнитивной модели КПД котла теплогенерирующей организации

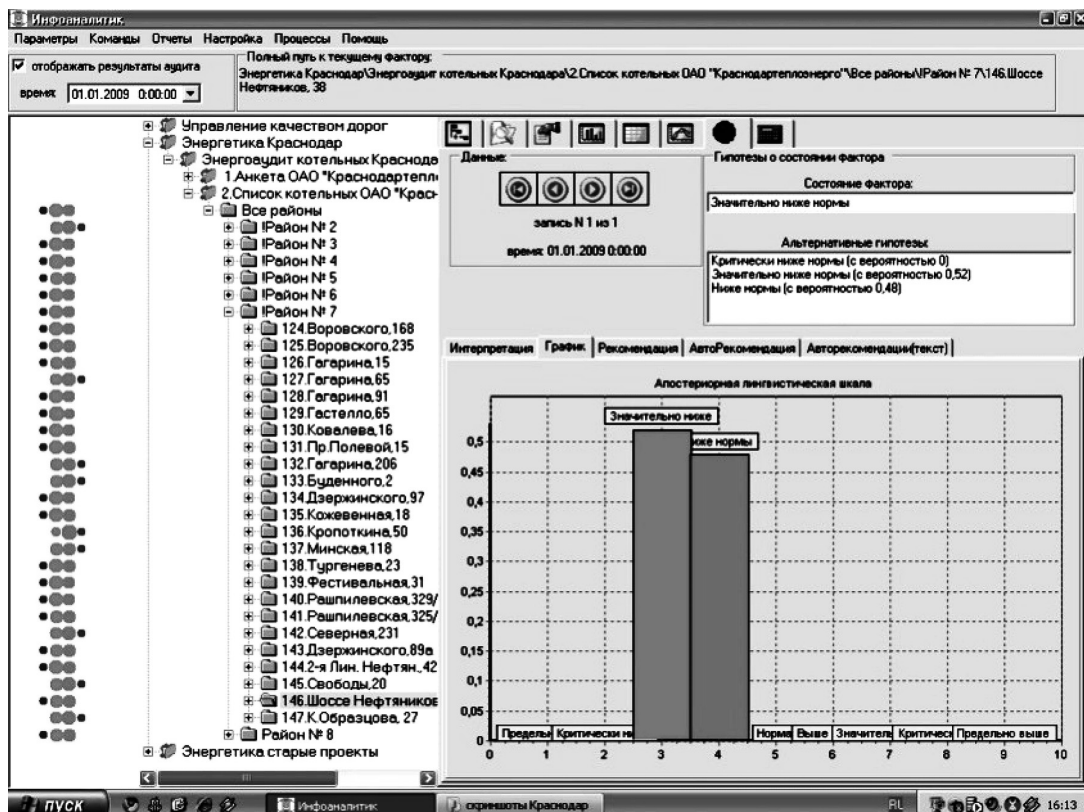


Рис. 2. Пример системной модели и комплексной оценки общего состояния котельной

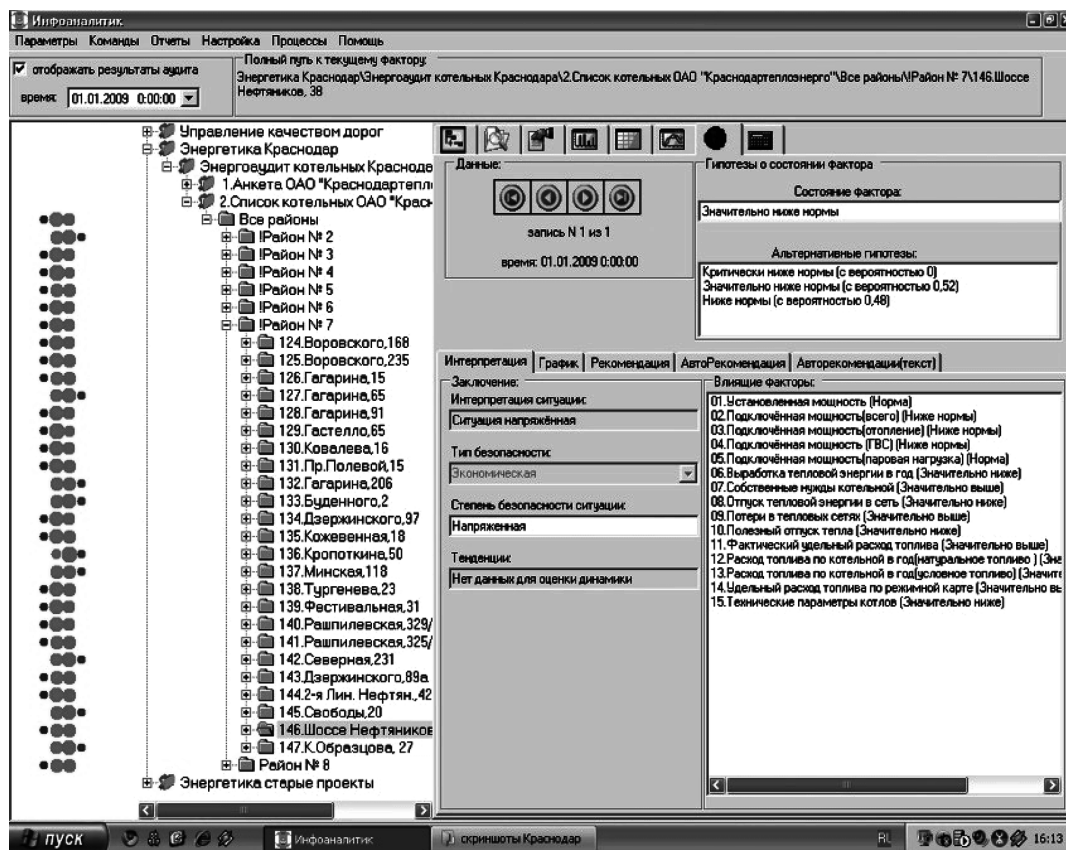


Рис. 3. Системная модель и системные решения для определения состояния и влияющих факторов среды функционирования котельной

ражающих степень соответствия показателей объекта их нормативным значениям. В подсистеме когнитивной графики используется 9 цветов, отражающих состояния объектов.

Формирование модели объекта и среды его функционирования может производиться разработчиками или пользователями предварительно, или в процессе функционирования системы.

При извлечении знаний об объекте и среде измеритель либо корректирует предложенное дерево факторов, отражающих свойства объекта, существенные для решения задачи, либо создает его заново. Интеллектуальный интерфейс предлагает измерителю для заполнения простые формы для установления связей между свойствами, типа их влияния, их значимости. Пример такой модели приведен на рисунке 2 для конкретной прикладной задачи.

Затем детализируется модель объекта, при этом знания получают от субъекта о значениях или оценках значений свойств объекта и среды, как в числовой, так и в лингвистической форме.

Этот процесс связан с созданием субъектом различных ШДО, соответствующим свойствам объекта и среды, которые в совокупности формируют гиперкуб динамического компакта решений по уравнению (2).

Пример ШДО приведен для оценки свойств котельных.

При формировании СШДО субъекту предлагается создать или обновить нормативно-методическую базу, которая хранится в модуле «Электронная библиотека» используется при создании СШДО. Таким образом извлекаются знания субъекта оценочного и аудиторского характера.

Все эти средства позволяют извлекать знания субъекта.

Умения субъекта отражаются в виде технологий или алгоритмов решения задачи или подзадач. Для извлечения умений субъекта используются специальные вычислительные модули платформы «Инфоаналитик»: «Калькулятор» для вычислений регуляризованных байесовских оценок (РБО), библиотека байесовской матема-

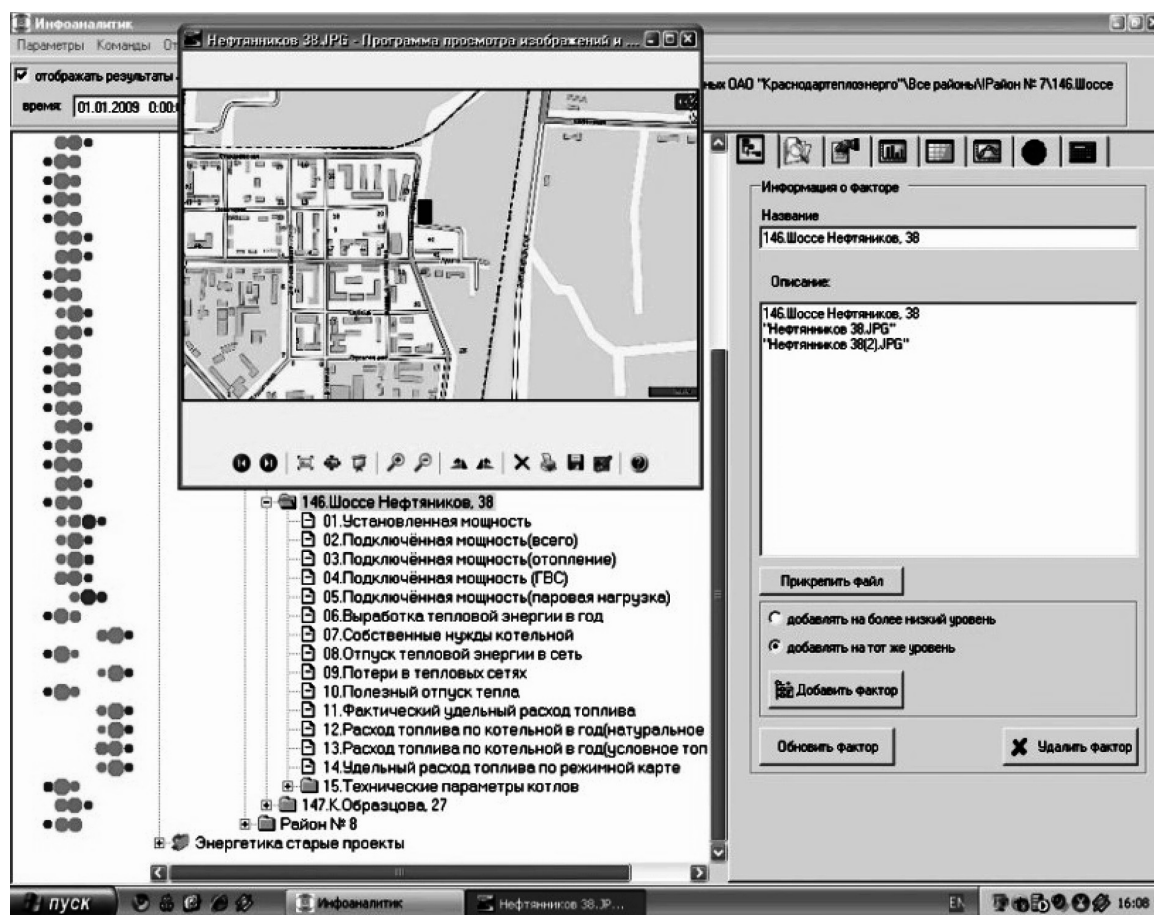


Рис. 4. Когнитивная модель системного синтеза сети котельных и среды их функционирования с соединением графической, лингвистической и числовой СШДО

тической статистики (БМС), блок генерации рекомендаций.

Модуль калькулятор [7] позволяет субъекту ввести в состав алгоритмической базы «Инфоаналитика» новую функциональную зависимость и применить ее к обработке как четких, так и нечетких переменных, представленных в виде РБО. При этом функциональная зависимость приобретает вид алгоритма и может активно использоваться. Косвенные или аналитические измерения реализуются на этой основе.

Библиотека байесовской математической статистики, подробно описанная в [7], служит для обработки выборок (прежде всего малых выборок) статистических данных. Она содержит как алгоритмы классической математической статистики, так и алгоритмы байесовской математической статистики, работающие в условиях малых выборок и значительной неопределенности. В качестве данных для БМС могут быть выборки, состоящие не

из вероятностных, а из «возможностных» данных, для которых вероятность их появления заменяется возможностью или фидуциальной (субъективной) вероятностью. Это дает возможность обрабатывать ряды данных, сформированные субъектом на основе его некоторых предположений.

Кроме того, БМС позволяет субъекту самому сформировать не только выборку данных, но и процесс их обработки. Для этого он может извлечь из библиотеки БМС отдельные алгоритмы и объединить их в технологию, задавая необходимую последовательность их реализации в вычислительном процессе. Средствами БМС реализуются алгоритмы статистических измерений. Очень важным и мощным инструментарием для решения задач системного синтеза является модуль определения законов распределения показателей, свойств, состояний реальных объектов системного синтеза. Подробная информация об этом модуле представлена в работе [9].

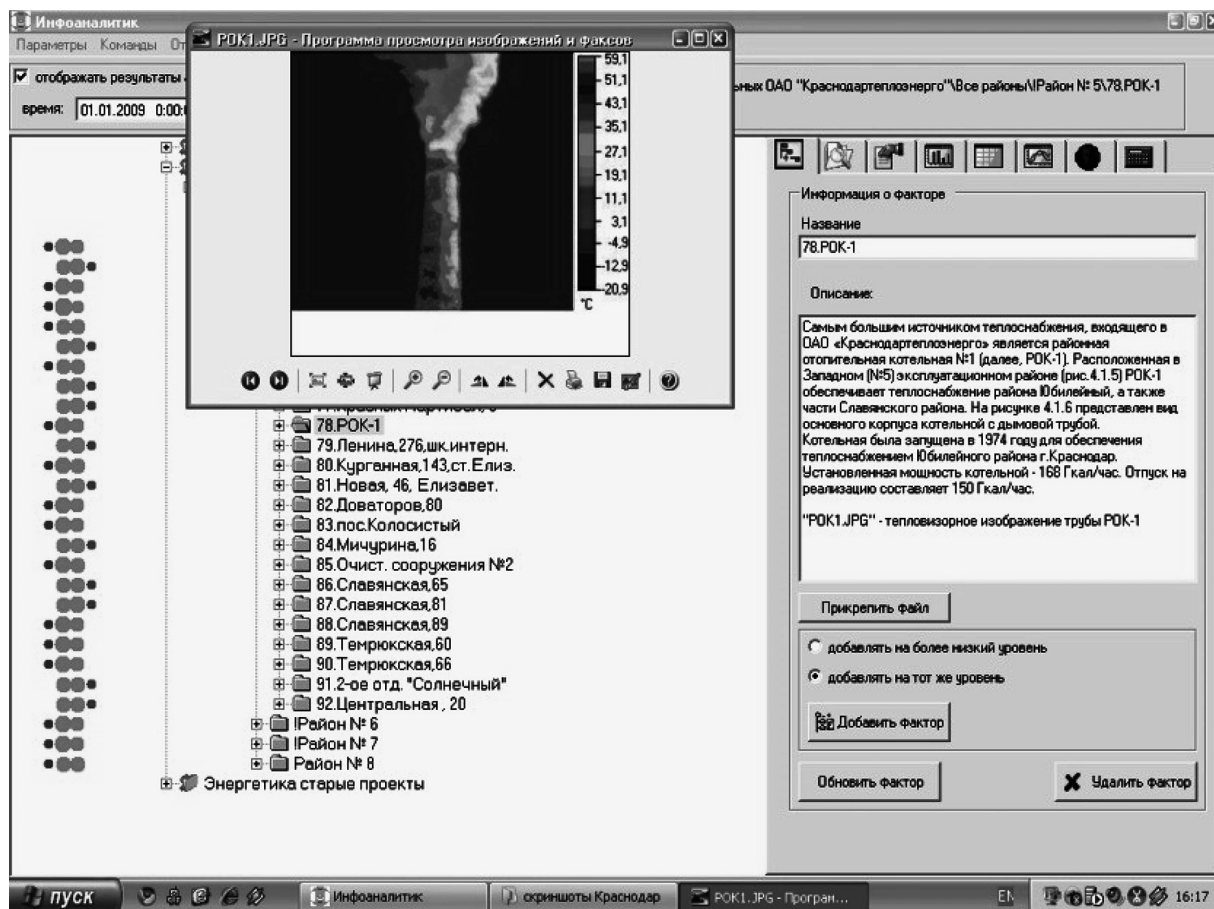


Рис. 5. Когнитивная системная модель для определения состояния теплогенерирующего объекта с соединением видео, числовых и лингвистических СШДО

Модуль генерации рекомендаций позволяет пользователю задать некоторые коррективные действия по усилению или ослаблению влияния какого-либо фактора, создавая тем самым управляющее воздействие в измерительно-аналитической системе.

Таким образом, можно рекомендовать предложенные концепцию, технологии, информационный комплекс «Инфоаналитик» и прикладные системы на его основе для решения задач системного синтеза в условиях неопределенности.

Список литературы

1. Прокопчина С. В. Когнитивные измерения на основе байесовских интеллектуальных технологий. Сб. докладов Международной конференции SCM-2007.
2. Прокопчина С. В. Создание развивающихся технологий на основе регуляризирующего байесовского подхода // Сб. докладов международной конференции по мягким вычислениям и измерениям. 2005, СПб, изд-во СПб ГЭТУ, 48–57 с.
3. Прокопчина С. В. О подходе к измерению социогуманитарных потенциалов с использованием БИТ // Государственный аудит. Право. Экономика № 3, 2013, Изд-во ГОС БУ НИИ Счетной палаты Российской Федерации, с. 73–82.
4. Гилфорд Дж. «Социальный интеллект»
5. Стеренберг Р. «Успешный интеллект. Триада концепция»
6. Прокопчина С. В. Принципы создания единого информационного пространства на основе БИТ // Сборник докладов международной конференции по мягким вычислениям и измерениям. 2003, СПб, изд-во СПб ГЭТУ. С. 64–70.
7. Мягкие вычисления и измерения. Под ред. С. В. Прокопчиной М.: Научная библиотека. 2017 г., в 3-х томах., том 1.
8. Прокопчина С. В. Системные измерения и моделирование экономических систем в ус-

ловиях неопределенности на основе регулирующего байесовского подхода (РБП) // Экономика и управление Проблемы и решения. М. 2014. № 7

9. Прокопчина С. В. Определение аналитического вида закона распределения в условиях малых выборок на основе регулирующего байесовского подхода // Экономика и управление: проблемы и решения. 2017. № 4.
10. Дергачева Е. А. Концепция глобализации в контексте социотехноприродного развития // Вестник Московского университета. Серия 27: Глобалистика и геополитика. 2015. № 3-4. С. 16–22.
11. Кефели И. Ф. Геополитическая динамика полицентричного мира: моделирование с учетом инновационных, статусных и коалиционных факторов // Вестник Московского университета. Серия 27: Глобалистика и геополитика. 2014. № 3-4. С. 53–59.
12. Шестова Т. Л., Лесь А. Ю. Глобальное медиапространство как научная метафора // Вестник Московского университета. Серия 27: Глобалистика и геополитика. 2016. № 2. С. 46–50.

References

1. Prokopchina S. V. (2007) Cognitive measurements on the basis of Bayesian intellectual technologies. *Sat. reports of the international conference SCM-2007*.
2. Prokopchina S. V. (2005) Creation of developing technologies on the basis of the regulatory Bayesian approach. *SB. reports of the international conference on soft computing and measurements*. 2005, St. Petersburg, Publishing house of St. Petersburg State Electrotechnical University, pp. 48–57.
3. Prokopchina S. V. (2013) On the approach to the measurement of socio-humanitarian potentials using BITS. *State audit. Right. Economics*, no 3, pp. 73–82.
4. Gilford John. “Social intelligence”.
5. Sterenberg R. “Successful intelligence. Triadic concept”.
6. Prokopchina S. V. Principles of creation of the uniform information space on the basis of BIT. *SB. reports of the international conference on soft computing and measurements*. 2003, SPb, Publishing house SPb Educational and Methodical, pp. 64–70.
7. Soft calculations and measurements. Under the editorship Of S. V. Prokopchina M.: Scientific library. 2017, in 3 volumes., volume 1.
8. Prokopchina S. V. (2014) System of measurement and simulation of economic systems in conditions of uncertainty on the basis of regularizing Bayesian approach (deferral). *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*. No. 7.
9. Prokopchina S. V. (2017) determination of the analytical form of the distribution law in the conditions of small samples on the basis of the regularizing Bayesian approach. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*. No. 4.
10. Dergacheva E. A. (2015) the concept of globalization in the context of social engineering development. *Bulletin of Moscow University. Series 27: global studies and geopolitics*, no. 3-4, pp. 16–22.
11. Kefeli I. F. (2014) Geopolitical dynamics of the polycentric world: modeling taking into account innovative, status and coalition factors. *Bulletin of Moscow University. Series 27: global studies and geopolitics*, no. 3-4, pp. 53–59.
12. Shestova T. L., Les A. Yu. (2016) Global media space as a scientific metaphor. *Bulletin of Moscow University. Series 27: global studies and geopolitics*, no. 2, pp. 46–50.