

UDC 004.81;66.021

**THE PROSPECTIVE AND PURPOSE OF REALIZATION OF SYSTEM  
OF ONLINE ADAPTIVE MODELLING OF PETROCHEMICAL  
PLANTS BASED ON COGNITIVE MAPS**

**ПЕРСПЕКТИВЫ И ЦЕЛИ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ  
АДАПТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ  
УСТАНОВОК, ОСНОВАННЫХ НА КОГНИТИВНЫХ КАРТАХ**

**К. Yu. Ustyuzhanin**

**Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, the Russian Federation**

**Устюжанин К. Ю.**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
г. Уфа, Российская Федерация**

**e-mail: usyuzhanin.ky@gmail.com**

**Abstract.** In execution of modern petrochemical plants the rest of control and monitoring obligations, related with process safety, assigned to the control system. By the federal law of dangerous facilities safety, the automation system have to provide reasonable degree of predictability of system behavior. Up to the present days, the theory of advanced control using precise models of the process dynamics actively develops. Up till now, the adaptive simulation of technological installations, simulations in real time without staff participation, was the major hindrance for applying advanced process control and safety technique on complex, unpredictable units. Research in this area made it possible to identify the structure of the Adaptive Control System, applicable to describe the necessary functions. The solution that provides the ability to use adaptive cognitive maps as process models has founded. The advantage of this technique is the flexibility in use and stress-free trainability of refinery or petrochemical plant

personnel. The self-organized, adaptive cognitive maps creation founded on heuristic knowledge about the process field is the best choice to level the economic effect of automation control. Unlike the “classic” modeling, cognitive maps afford to use natural human knowledge in process field, which defined by natural language and comprehensible threads. The prospective tool for its creation, developing in the Ufa State Petroleum University for provides adaptive modeling by cognitive maps is the programming complex named “Cognitive Map Builder”. This solution could be useful to resolve adaptive modeling problem with minimal budget.

**Аннотация.** Во время сопровождения функционирования нефтехимических установок, большинство обязанностей управления и мониторинга, связанных с безопасностью процесса возложены на систему управления. В соответствии с федеральным законом о безопасности опасных производственных объектов, система автоматизации должна обеспечивать достаточный уровень предсказуемости поведения системы. На сегодняшний день, активно развивается теория продвинутого, усовершенствованного управления с использованием точных моделей динамики процесса. До сих пор, проблема адаптивного моделирования технологических установок, моделирования в реальном времени (онлайн), без участия персонала, являлась основным препятствием для применения техник продвинутого управления и обеспечения безопасности на сложных, плохо предсказуемых установках. Исследования в этой области позволили определить структуру системы адаптивного управления, которая применима для описания необходимых функций. Было найдено решение, предоставляющее возможность использовать адаптивные когнитивные карты в качестве динамических моделей. Преимуществом этой техники является гибкость в применении и легкая обучаемость персонала нефтеперерабатывающего или нефтехимического предприятия. Самоорганизующиеся, адаптивные когнитивные карты, основанные на эвристическом знании о процессе, являются лучшим выбором для повышения экономической эффективности автоматизирован-

ного управления. Перспективным инструментом для их создания, разрабатываемым в Уфимском государственном нефтяном техническом университете, является программный комплекс «Cognitive Map Builder». Это решение наиболее предпочтительно для решения проблемы адаптивного моделирования с минимальным бюджетом.

**Key words:** adaptive modeling, cognitive maps, heuristic models, advanced process control and safety, adaptive systems, self-organizing systems, online modeling.

**Ключевые слова:** адаптивное моделирование, когнитивные карты, эвристические модели, системы продвинутого управления и обеспечения безопасности, адаптивные системы, самоорганизующиеся системы, моделирование в реальном времени.

Today, the automation complexes are facing the problem of increasing the economic efficiency of the plant control complex by using model predictions during the strategic planning of process performance. The major path, providing the optimal execution of the oil and gas producing fields, primary and side petrochemical units, are held on the methodology of Advanced Process Control and Safety – APCS. The field of advanced, intellectual automation systems include such tasks as control and optimization by quality and economic efficiency indicators; coordination of multidimensional control; online diagnostics; monitoring and forecasting the unit's condition. In addition, these tasks include the online actual youth personnel training onto the virtual simulators, are similar to the real workplace, acceptance and verification of management decisions targeted to leveling the economic harm and prevention of the critical states. All this goals are belonging to area of interests of APCS.

The best tool can used for providing APCS capabilities for the occurring automation complex of the petrochemical plant is the accurate model of the pro-

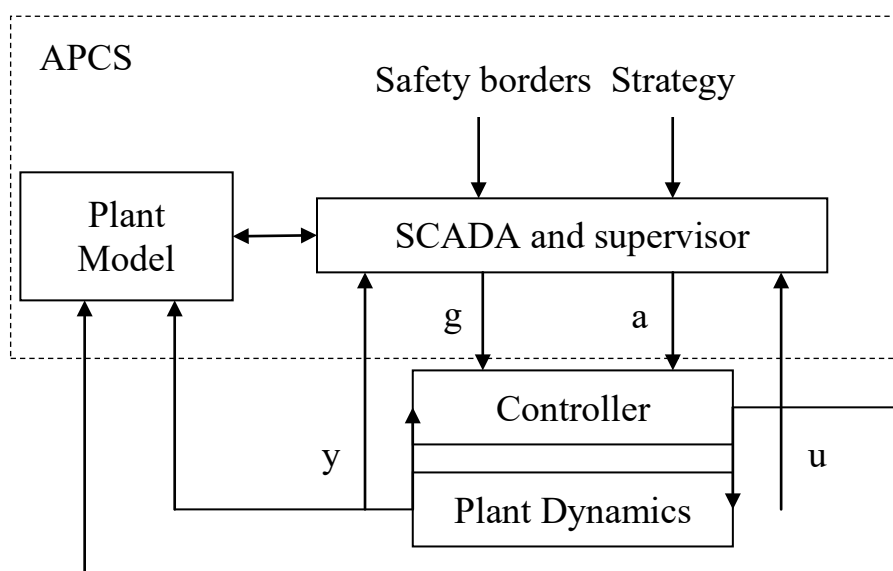
cess and, in some circumstances, it is complemented by the model of automation system itself [4].

The broad variety of USPTU (Ufa State Petroleum Technological University) [6, 7, 9, 11] and other [1, 2, 8] researchers has been enthusiastically promoting the theory of APCS, based on cognitive models of the technological units. The experience of appliance at the refinery rising of readiness for fulfilling it's assigned duties in all possible controlled unit statuses.

The model of the unit afford automation engineers and operators to predict and avoid the potential risking situations and make the decisions for increasing the control stability. The practice of using model-predictive controllers, model-supported, model-based automation systems [3] afford us to state, that when we need to provide the required level of quality and safety, the competence of this type of systems are more effective than the systems without the model.

An APCS system (picture 1) include the plant model and supervisor with SCADA, which interfacing with the plan personnel and low-level tools such as controllers, actuators and sensors. The purpose of the coupling SCADA-supervisor is to generate input commands ( $g$ ) and to adjust controller's parameters according to plant gauge ( $y$ ), current control ( $u$ ), targeted strategy and process safety borders. On that scheme, the Plant Model plays a support role for the supervisor when it is examining plat for which situation is going to release at present. The Plant Model provide an ability to predict the consequences of the further actions and helps supervisor to find the best solution.

The model of the plant can be easily determined if we have an ability to limit the process dynamics borders or we able to write down fullest system of physical and chemical equations and correctly find it's solution.



Picture 1. Advanced Control Complex

For some simple units there are comprehensive models and a broad volume of support books on automation and the mathematical description are written for today. However, if we are going to build a model for more difficult and multicoherent plant such as catalytic cracking reactors, pyrolysis, hydrocracking, aromatics, polymer production and even heating furnaces, we will face the problems. The simplest is that the variety of coupled field parameters cannot be limited with the target accurateness of the model. The worst problem is when dynamics of the modeling object flowing in wide margins and interlinked with time and previous states order.

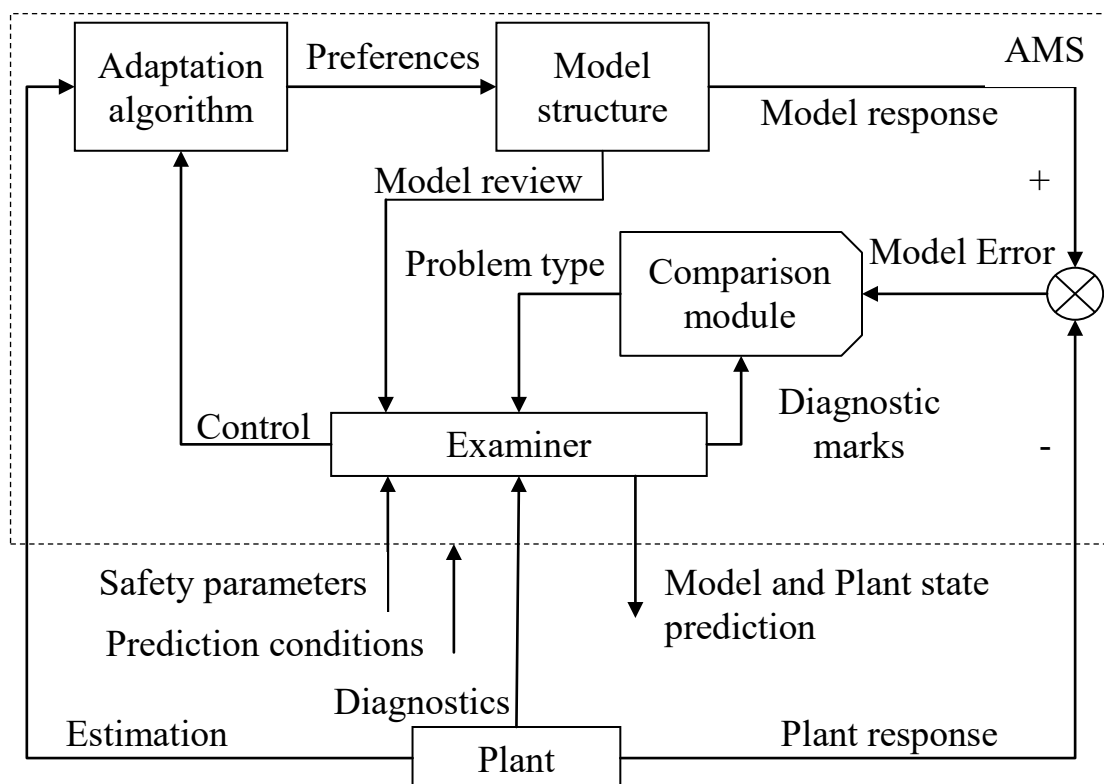
The both of marked problems could be solved by adaptation of the model to plant online, during the normal functioning of the automation control system.

According to [3], the adaptive model means that it's behavior will change simultaneously to changing of external circumstances. Consequently, the Adaptive Modeling System (AMS) is the program complex that accomplish the model and regulate its structure changing.

Experience of use of adaptive control systems in the West countries [1, 2, 3] shown that this technique can provide descent solution.

There is two different situations, which it needs to differentiate:

- The situation when the model error is rising because of normal plant state flowing, so the model is becoming to be not representative;
- The situation when the plant is taking malfunction or some of the part of the automation complex is getting offline rapidly and irrevocably.



Picture 2. Adaptive Modeling System

The first one is the need reason of model adaptation. The second one is the questions of process safety [5] that have to be covered by real-time diagnostics is obliged to be used in petrochemical field's control to prevent potential emergence accidents. Here the virtual analyzers and indirect calculation of would help [6, 7, 9, 11, 13].

The AMS includes four major parts: Model Structure, Adaptation Algorithm, Comparison Module and Plant Examiner (picture 2).

The Examiner is a diagnostician of the automation complex and it's main purpose is contained in the diversifying of two noticed cases. When it defines the occurrence of the first case, it effects on the Adaptation Algorithm. The Adaptation Algorithm estimates the actual model parameters (preferences) from the

plant observance. It's resulting in the Model Structure. The Comparison module uses diagnostic marks to figure out what type of situation is perceived. When the Examiner notices the plant is functioning not ordinary, it signals to the automation system that the plant is malfunctioning and prevent (if it mentioned to do) the model changes. In this procedure, the prediction conditions review (was powered by automation system) and safety parameters (was directed by Process Managers) are involved. The Adaptive Modeling System inputs the prediction conditions and outputs the model dynamics. It also be able to indicate the Plant state.

In that case, let's form major requirements to system of adaptive modeling:

1. The model should be able to represent dynamical changes of the plant parameters;
2. The should to has a learning or adapting algorithm real-time, without a need to revoking the unit exploitation;
3. The model should be representative – so the model error must reach the confidence interval;
4. The model should give the predictions to afford strategically planning;
5. The model should be based on the expert knowledge of the field of process description.

The most advantageous is the technology of cognitive maps [6]. The Cognitive Map is a polished embodiment of expert's sight on the technological process. It's denoted as two-pole oriented graph and signifies how the process parameters effects on each other would.

Here a graph knots is a known and unknown process parameters and the links is the equations, threats or functions, defined between two pair of knots. This type of models is grounded on the interactive consuming of heuristically collected expert knowledge of the field of process description and its external environment. The way of formalization of the process data by human in experience-oriented and theoretically provable procedure forms the model structure

and defines the possible ways of its adaptation. Consequently, the model is becoming intellectual and epitomizes the way of real human thinking.

The Cognitive Map sample (Pyrolysis tube reactor) is shown on picture 3. It describes trivial chemical conversion of several mixed components incoming the tube reactor and defines process output on the length  $x$  of the coil. Inner circle of knots is represents the output parameters and components of the input flow and the outer circle – represents input parameters. The picture 4 helps to imagine how the experts designates the cognitive model.

The gauged parameters are used to assess to immeasurable parameters. The target cognitive map will have three “layers”: input and output, containing the reference knots of measureable parameters and hidden layer (picture 5). The hidden layer also enclose all copies of measureable parameters. On the picture, the S1 group is a parameters, that we can have from the sensor information across the technological unit; the group S2+S3 is an immeasurable parameters, needed to solve; the S3 is a group of target parameters. Therefore, if we describe the set of mixture concentrations and set of coil’s input technological parameters (measured).

$$IN = \{N(1), N(2), \dots, N(k), P(i), P(1), P(2), \dots, P(n)\}^{k+n}, \quad (1)$$

the set of coil’s output mixture concentrations and set of target technological parameters (measured)

$$OUT = \{N(1), N(2), \dots, N(m), P(i), P(1), P(2), \dots, P(l)\}^{m+l}, \quad (2)$$

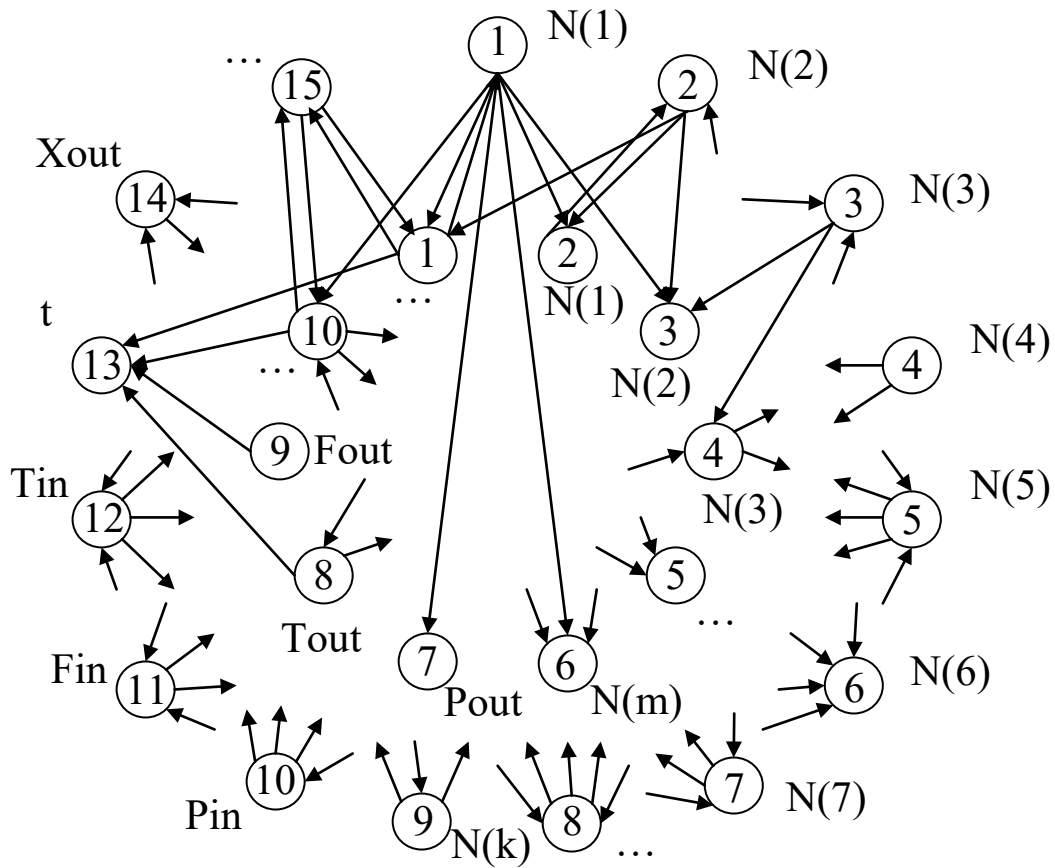
and, we can write the system of differential equations like

$$T_{i,1} \cdot \frac{dP_i^*}{dt} + T_{i,2} \cdot P_i^* = K_{i,1} \cdot P_j + K_{i,2}, \quad (3)$$

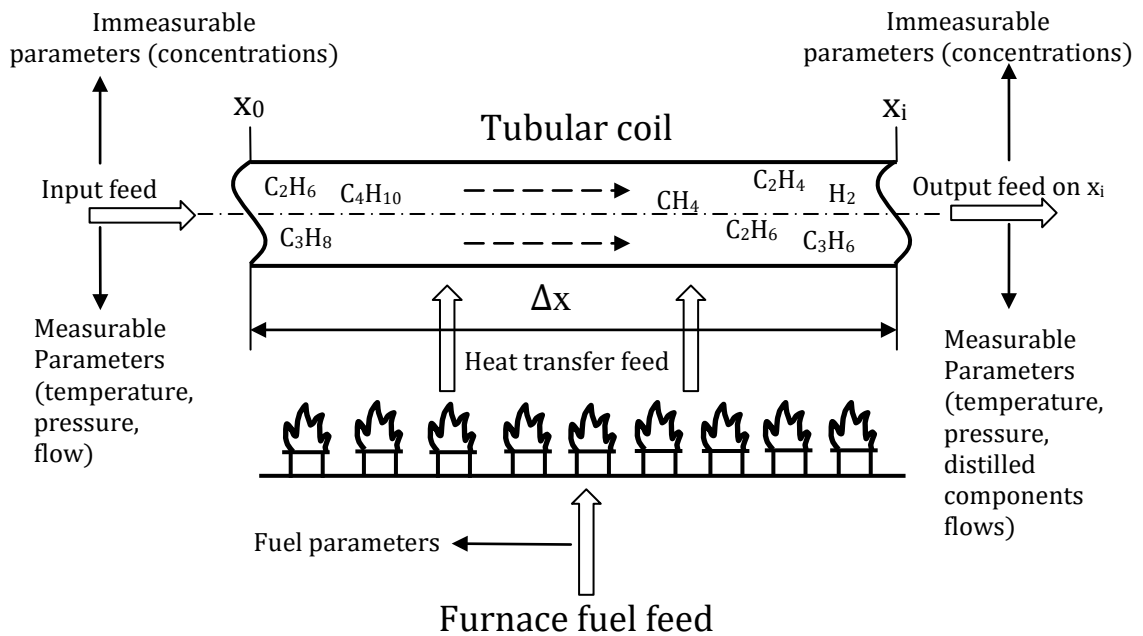
so we have a complete cognitive map.

The total number of equations like that could be less or equal to value of  $R = (k + n + m + l)^2 - (k + n + m + l)$ . Each concept could have several input and output links, prescribed by experts.

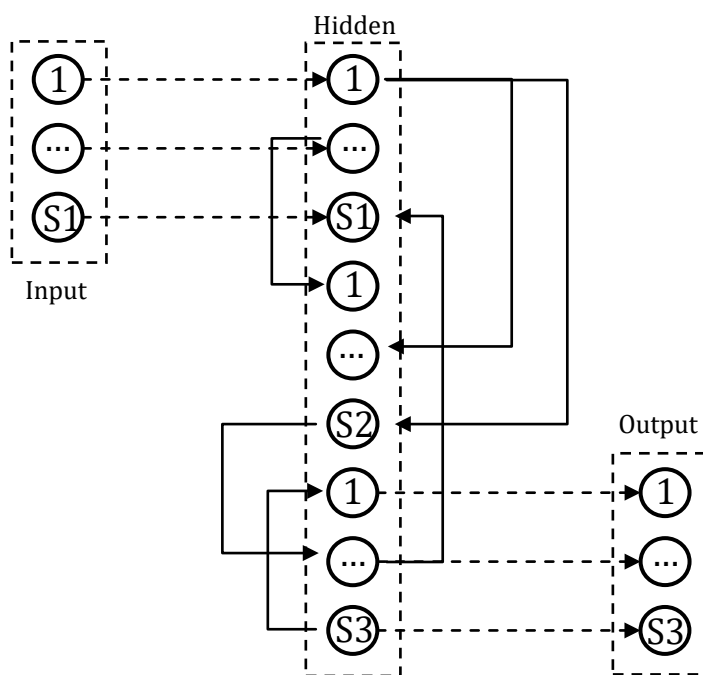




Picture 3. The cognitive map of pyrolysis tube reactor



Picture 4. The pyrolysis reactor case



Picture 5. The cognitive model structure

Assortment of links is individual for different plant models. For creating cognitive map we can use statistical dependences between measurable parameters, theoretical models of physical and chemical interchanges.

The (3) describes the link between two random concepts:  $P_i^*$  is for output of link and  $P_j$  is for input of link. The  $T_{i,k}$ ,  $K_{i,k}$  is equation parameters. Substituting the differentiation operator with first order common difference we pushing the (3) to the following form:

$$T_{i,1} \cdot \frac{P_i^* - P_{i-1}^*}{h} + T_{i,2} \cdot P_i^* = K_{i,1} \cdot P_j + K_{i,2}, \quad (4)$$

We able to find a simplified form by making it straightforward. The complete representation will be

$$P_i^* = \frac{T_{i,1}}{T_{i,1} + T_{i,2} \cdot h} \cdot P_{i-1}^* + \frac{K_{i,1} \cdot h}{T_{i,1} + T_{i,2} \cdot h} \cdot P_j + \frac{K_{i,2} \cdot h}{T_{i,1} + T_{i,2} \cdot h}, \quad (5)$$

or

$$P_i^* = a_i \cdot P_{i-1}^* + b_i \cdot P_j + c_i, \quad (6)$$

where

$$a_i = \frac{T_{i,1}}{T_{i,1} + T_{i,2} \cdot h},$$

$$b_i = \frac{K_{i,1} \cdot h}{T_{i,1} + T_{i,2} \cdot h},$$

$$c_i = \frac{K_{i,2} \cdot h}{T_{i,1} + T_{i,2} \cdot h}.$$

In this formula “j” describes the number of link’s input concept and the “i” describes the number of output one. Both of them variates from the first to value of R.

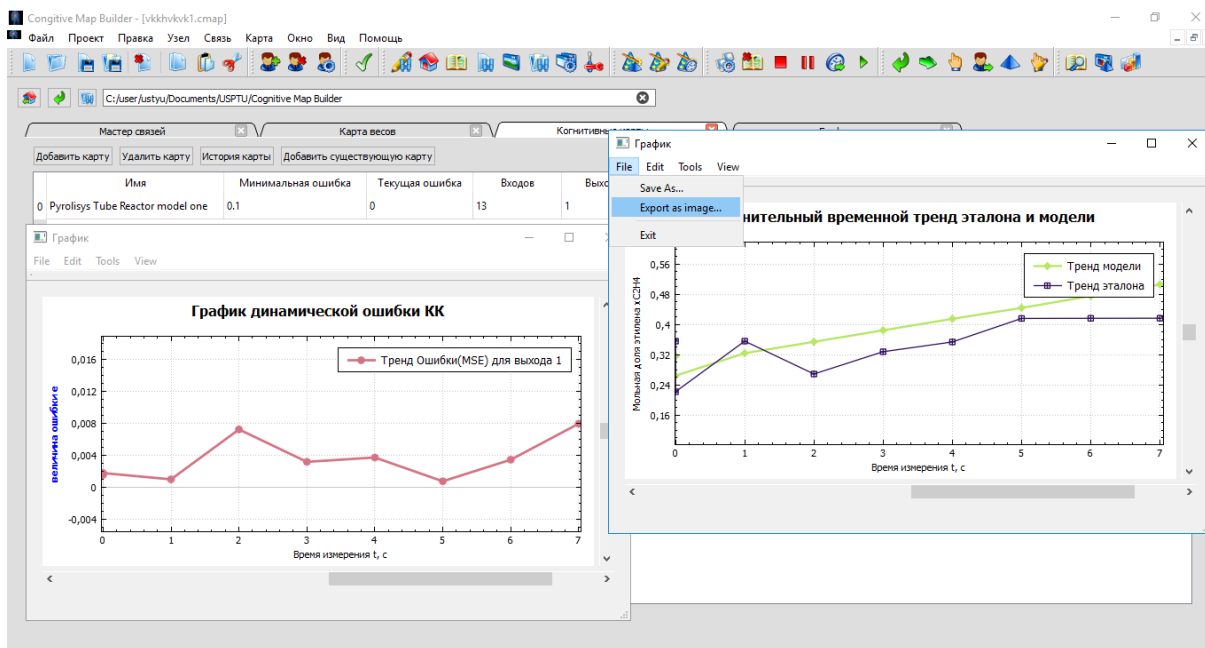
It’s hardly should be noted, that not all of weight coefficients of  $a_i$ ,  $b_i$  and  $c_i$  would be different from zero, because not all links of cognitive map on pic. 3 would occur in a real case. If we have no need to effecting previous parameter’s states to future, the links from concepts to itself would not occur too.

Here is how the hidden layer works. In the links between input and hidden, hidden and output layers there is no coefficients and it simply translate the signal to it’s hidden (or output) realizations with no changes.

The execution of the cognitive map started from inputting current technological parameters and then – counting all links once – for instant result – or till the time when it stop to change – for receiving model’s impulse characteristics.

The functional cognitive map, as one described above, have an ability to represent dynamics of the plant interactively. Therefore, the model behavior may bear oscillatory actions. By changing weight parameters  $a_i$ ,  $b_i$  and  $c_i$  we can stabilize the model until we have minimal fluctuations and reach the prescribed error border. Obviously, classical gradient method, are borrowed from neural network theory will not work properly.

This fact was taken from research of systems alike [10, 12, 13]. The program “Cognitive Map Builder” written to solve functional cognitive maps are shown on picture 6.



Picture 6. The Cognitive Map Builder

The theory of the Cognitive Maps and APCS systems had been exploring from ten to fifteen years in the department of ASUTP in USPTU. The current researches aimed to reach the completely new class of the systems alike – The Self-Organizing Incremental Cognitive Maps.

This methodology today is the simplest way to provide the technology of adaptive modeling with minimal costs. The primary expenditures of creation of adaptive models is elapsed on the modeling time, finding the common solution, and, as matter of fact, there is no any equivalent technique. Today not the entire math approach of the adaptation is clear and approved, as well as the Cognitive Map Builder is still in development and testing, but the prospective of this research would be a new great step in approximating to APCS.

## Conclusions

1. The article was submitted by a way of describing the Adaptive Modeling System that meets the requirements of security and accuracy. Among all solutions were highlighted exactly cognitive maps because they conglomerate the combination of the advantages of classical models and the specificity of the trainable, intelligent systems.

2. The requirements that have to be demanded to adaptive modeling system were formulated. In accordance with them, the way of solution and the main obstacles were described. Defined conditions reaching the optimal decision were fleshed out.

3. The solutions, most optimal for petrochemical complex, were labeled. The research results, personified in the adaptive cognitive map development system named “Cognitive Map Builder”, were shown.

---

Сегодня автоматизированные технологические комплексы встречаются проблему увеличения экономической эффективности комплекса средств автоматизации посредством использования предсказаний по модели в ходе стратегического планирования исполнения процесса. Основной путь, обеспечивающий оптимальное сопровождение нефтегазодобывающих, первичных и вторичных нефтеперерабатывающих установок держится на методологии «улучшенного», продвинутого управления и обеспечения безопасности – APCS (англ. Advanced Process Control and Safety). Сфера применения продвинутых, интеллектуальных автоматизированных систем включает такие задачи, как: управление и оптимизация по показателям качества и показателям экономической эффективности, координация многомерного управления, диагностика в реальном времени, мониторинг и предсказание состояния установки. Также, эти задачи включают актуальные тренинги персонала в реальном времени на виртуальных симуляторах, идентичных реальному рабочему месту, поддержку, применение и верификацию управленческих решений, направленных на снижения затрат и предупреждения критических состояний. Все эти цели принадлежат к области интересов APCS-систем.

Наилучшим инструментом, способным предоставить существующим комплексам автоматизации нефтехимических установок возможности

APCS-систем, является точная модель процесса и, в некоторых случаях, она дополняется моделью всей системы автоматизации [4].

Большое количество исследователей из УГНТУ (Уфимского государственного нефтяного технического университета) [6, 7, 9, 11] и прочих [1, 2, 8] активно продвигают теорию APCS-систем, основанных на когнитивных моделях технологических процессов. Опыт показывает, что их применение, увеличивает готовность системы к исполнению возложенных на нее обязанностей в любых управляемых состояниях установки.

Модель технологической установки позволяет инженерам-автоматчикам и операторам предсказывать и избегать потенциально-рискованных ситуаций, а также принимать решения, увеличивающие стабильность процессов управления. Практика использования предикторов, предиктивных систем автоматизации [3] позволяет утверждать, что, когда существует необходимость обеспечивать заданный уровень качества и безопасности, эти системы более компетентны и эффективны, чем системы без модели.

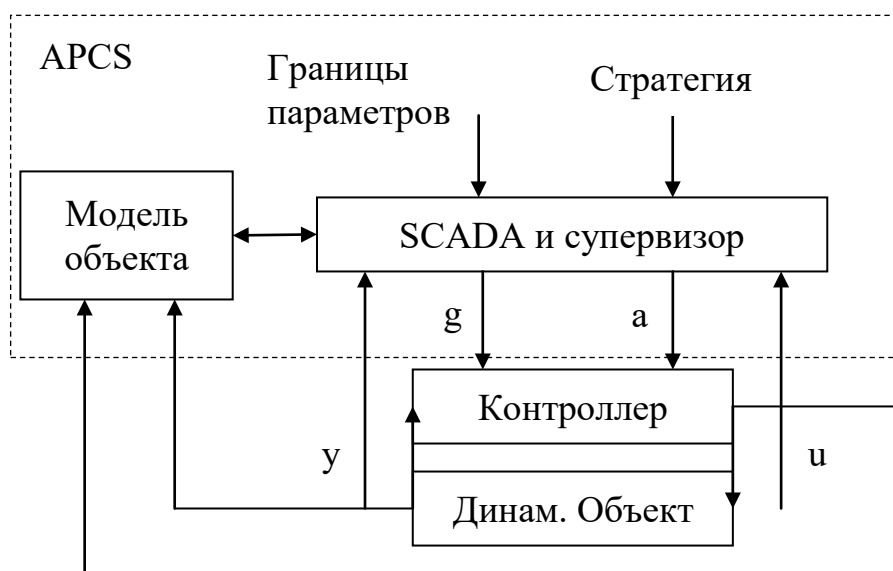


Рисунок 1. Комплекс продвинутого управления

APCS-система (рисунок 1) включает модель установки (объекта) и супервизор со SCADA-системой, которая взаимодействует с персоналом установки и низкоуровневыми компонентами, такими как контроллеры, актуаторы и датчики. Назначение связки SCADA-супервизор заключается в том, чтобы генерировать входные команды ( $g$ ) и подстраивать параметры контроллеров в соответствии с – измерением – ответом установки ( $y$ ), текущего сигнала управления ( $u$ ), целенаправленной стратегии и границ параметров процесса. На этой схеме Модель объекта играет вспомогательную роль для супервизора, когда он тестирует установку на то, какая ситуация наблюдается в данный момент. Модель Объекта предоставляет возможность предсказывать последствия дальнейших действий и помогает супервизору найти лучшее решение.

Модель установки может быть легко определена, если имеется возможность ограничить динамику процесса или записать полную систему физических и химических уравнений и найти ее корректное решение. Для ряда простых аппаратов к сегодняшнему дню существуют наиболее полные модели и написано большое количество вспомогательной литературы по автоматизации математическому сопровождению. Однако, если требуется создать модель более сложной и многосвязной установки, как реактор каталитического крекинга, печь пиролиза, реактор гидрокрекинга, установка ароматизации, производство полимерного волокна и даже печь огневого нагрева, то возникают серьезные проблемы. Простейшей является факт того, что число связанных параметров установки нельзя ограничить при заданной точности модели. Наихудшая проблема заключается в том, что динамика объекта моделирования «плавает», колеблется в широких пределах и зависит как от времени, так и от последовательности предыдущих состояний.

Обе обозначенные проблемы могли бы быть решены с помощью адаптации модели к установке в реальном времени, в ходе нормального функционирования системы автоматизации.

В соответствии с [3], «адаптивная модель» означает, что ее поведение меняется одновременно с изменением внешней среды. Следовательно, Система Адаптивного Моделирования (САМ, англ. AMS – Adaptive Modeling System) – это программный комплекс, который исполняет модель и регулирует изменения ее структуры.

Опыт использования адаптивного управления в западных странах [1, 2, 3] показал, что эта техника может обеспечивать достаточное решение.

Существует два разных типа ситуаций, которые необходимо различать:

- Ситуация, когда ошибка модели растет из-за нормального изменения состояния установки, поэтому модель становится нерепрезентативной;
- Ситуация, когда установка находится в аварийном состоянии, или связь с частью комплекса систем автоматизации теряется быстро и безвозвратно.

Первый из них является причиной потребности в адаптации моделей. Второй случай является вопросом безопасности процесса [5], который должен быть решен путем диагностики в реальном времени, обязательной для систем управления нефтехимических предприятий для того, чтобы предотвратить возможные аварии. Здесь могут помочь виртуальные анализаторы и косвенные вычисления [6, 7, 9, 11, 13].

AMS(CAM) включает в себя четыре основных компонента: Структура модели, Алгоритм адаптации, Модуль сравнения, Тестирующий (рисунок 2).

Тестирующий – это диагност автоматизированного комплекса и его основное назначение содержится в различении двух обозначенных ситуаций. Когда он определяет, что присутствует первый случай, он воздействует на Алгоритм адаптации. Алгоритм адаптации вычисляет текущие параметры модели из наблюдений установки. Они отражаются в Структуре модели. Модуль сравнения использует диагностические оценки, чтобы определить наблюдаемый тип ситуации. Когда Тестирующий замечает, что аппарат функционирует не нормально, он сигнализирует системе автоматизации о



том, что установка неисправна и (если необходимо) упреждает изменение модели. В этой процедуре вовлечены условия предсказаний (предоставляемые системой автоматизации) и параметры безопасности (назначенные технологом). Система адаптивного моделирования принимает на вход условия предсказаний и возвращает динамику модели (предсказания). Она также может показывать состояние установки.

В этом ключе, сформулируем основные требования к системам адаптивного моделирования:

1. Модель должна отражать динамические изменения параметров установки;
2. Модель должна иметь алгоритм обучения или адаптации в реальном времени, без необходимости останова аппарата.
3. Модель должна быть репрезентативной – поэтому ее ошибка должна находиться в пределах доверительного интервала;
4. Модель должна давать предсказания, позволяющие осуществлять стратегическое планирование;
5. Модель должна быть основана на экспертных знаниях о процессе.

Наиболее выгодной является технология когнитивных карт [6]. Когнитивная карта – это «сглаженное» воплощение восприятия технологического процесса экспертом. Она обозначается как двудольный ориентированный граф и определяет, как параметры процесса влияют друг на друга.

Здесь узлы графа – это известные и неизвестные параметры процесса, а связи – это уравнения, воздействия или функции, определенные между двумя парами узлов. Этот тип моделей опирается на интерактивное использование эвристически собранных экспертных знаний о процессе и его внешней среде. Способ формализации данных процесса человеком в ориентированном на опыт и теоретически доказуемым путем формирует структуру модели и определяет возможные пути ее адаптации. Следовательно, модель становится интеллектуальной и воплощает способ мышления реального человека.

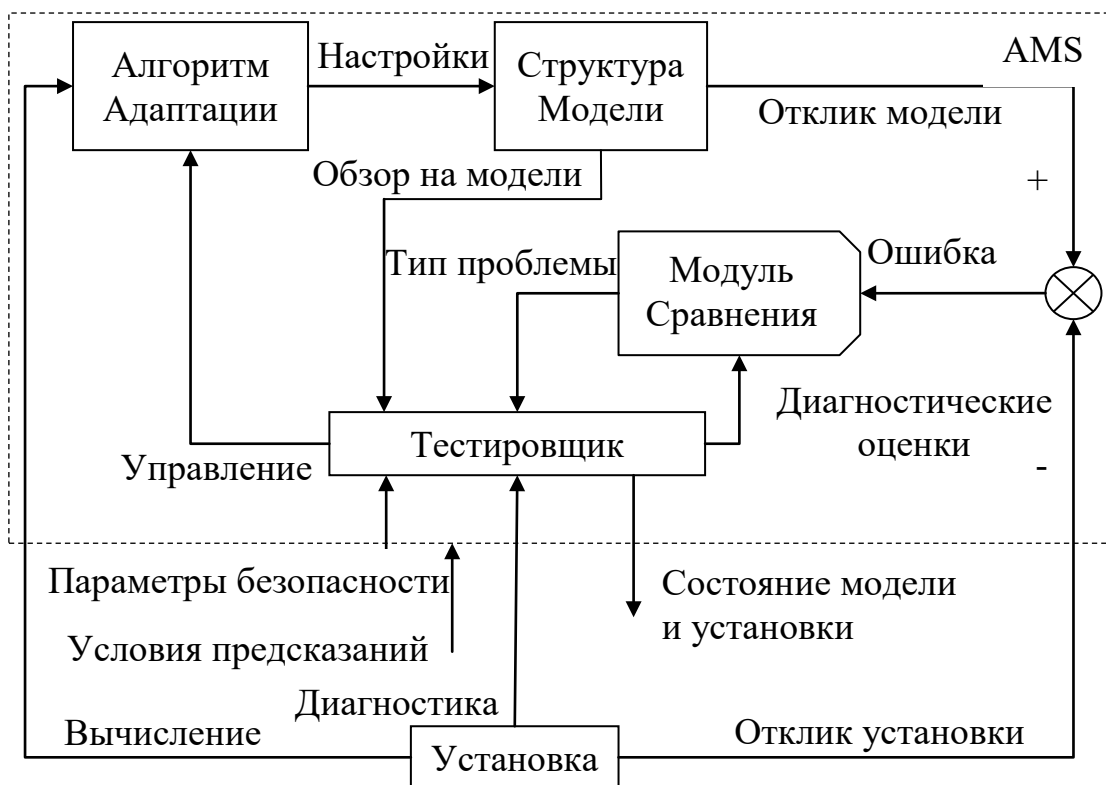


Рисунок 2. Система адаптивного моделирования

Пример когнитивной карты (трубчатый реактор пиролиза) показан на рисунке 3. Он описывает элементарные химические превращения ряда смешанных компонент, поступающих в змеевик и определяет выход процесса на длине  $x$  змеевика. Внутренний круг узлов представляет выходные параметры процесса и компоненты выходного потока, а внешний круг – входные параметры и компоненты. Рисунок 4 дает представление как эксперт обозначает когнитивную модель.

Измеряемые параметры используются для того, чтобы получить доступ к неизмеримым параметрам.

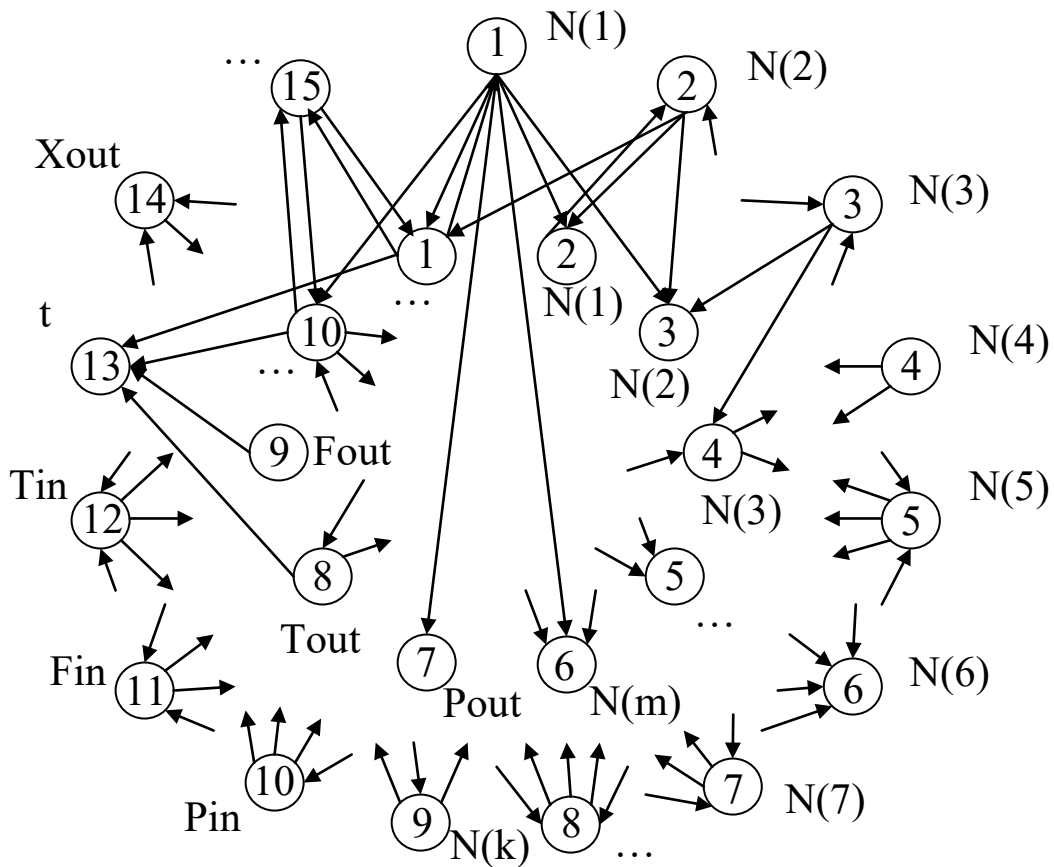


Рисунок 3. Когнитивная модель трубчатого реактора пиролиза

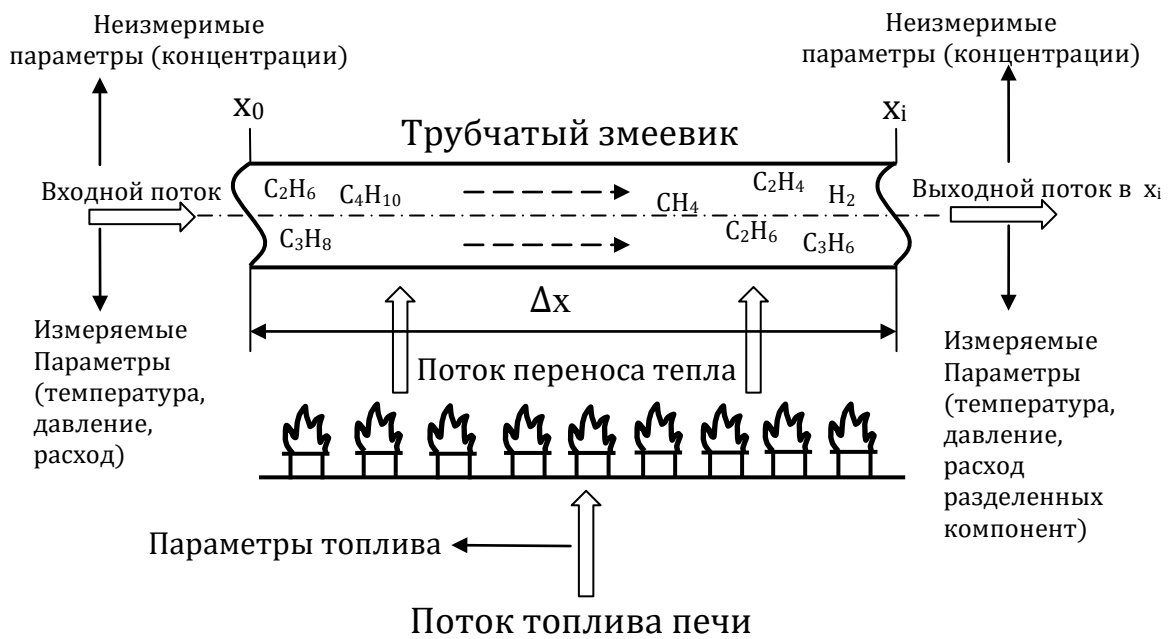


Рисунок 4. Задача о реакторе пиролиза

Целевая когнитивная карта будет иметь три слоя: входной и выходной, содержащий узлы-ссылки на параметры процесса, и скрытый слой (рисунок 5). Скрытый слой также включает все копии измеряемых параметров.

На схеме, группа S1 – параметры, которые можно сформировать из информации сенсоров по всей технологической установке; группа S2 + S3 – это неизмеримые параметры, которые необходимо вычислить; группа S3 – это группа целевых параметров.

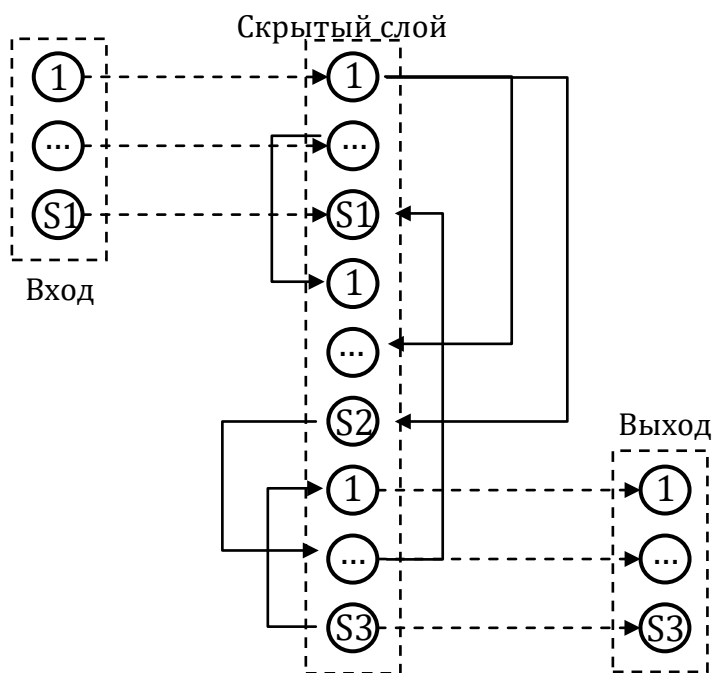


Рисунок 5. Структура когнитивной карты

Поэтому, если описать набор компонентов смеси и набор параметров входного потока змеевика (измеримых)

$$IN = \{N(1), N(2), \dots, N(k), P(i), P(1), P(2), \dots, P(n)\}^{k+n}, \quad (1)$$

набор компонентов смеси и параметров выходного потока змеевика (измеримых)

$$OUT = \{N(1), N(2), \dots, N(m), P(i), P(1), P(2), \dots, P(l)\}^{m+l}, \quad (2)$$

и, можно записать систему дифференциальных уравнений вида

$$T_{i,1} \cdot \frac{dP_i^*}{dt} + T_{i,2} \cdot P_i^* = K_{i,1} \cdot P_j + K_{i,2}, \quad (3)$$

то можно сказать, что имеется когнитивная карта.

Конечное число уравнений как это должно быть меньше или равно числу  $R = (k + n + m + l)^2 - (k + n + m + l)$ . Каждый концепт должен иметь несколько входных и выходных связей, описанных экспертом.

Набор связей индивидуален для разных моделей. Для создания когнитивной карты можно использовать статистические зависимости между измеряемыми параметрами, теоретических моделей физических и химических взаимодействий.

Уравнение определяет связь между двумя случайными концептами:  $P_i^*$  — для выхода связи и  $P_j$  — для входа связи.  $T_{i,k}$ ,  $K_{i,k}$  — параметры уравнения. Заменяя оператор дифференцирования конечной разностью первого порядка, приводим к следующей форме:

$$T_{i,1} \cdot \frac{P_i^* - P_{i-1}^*}{h} + T_{i,2} \cdot P_i^* = K_{i,1} \cdot P_j + K_{i,2}. \quad (4)$$

Возможно найти упрощенную форму, упростив ее. Конечный ее вид будет:

$$P_i^* = \frac{T_{i,1}}{T_{i,1} + T_{i,2} \cdot h} \cdot P_{i-1}^* + \frac{K_{i,1} \cdot h}{T_{i,1} + T_{i,2} \cdot h} \cdot P_j + \frac{K_{i,2} \cdot h}{T_{i,1} + T_{i,2} \cdot h}, \quad (5)$$

или

$$P_i^* = a_i \cdot P_{i-1}^* + b_i \cdot P_j + c_i, \quad (6)$$

где  $a_i = \frac{T_{i,1}}{T_{i,1} + T_{i,2} \cdot h},$

$$b_i = \frac{K_{i,1} \cdot h}{T_{i,1} + T_{i,2} \cdot h},$$

$$c_i = \frac{K_{i,2} \cdot h}{T_{i,1} + T_{i,2} \cdot h}.$$

В этой формуле « $j$ » определяет номер входного концепта связи и « $i$ » – номер выходного. Оба эти числа ограничены значением  $R$ .

Настоятельно следует упомянуть, что не все коэффициенты  $a_i$ ,  $b_i$  и  $c_i$  могут быть отличны от нуля, потому что не все связи в когнитивной карте на рисунке 3 могут существовать в реальной жизни. Если нет необходимости в влиянии предыдущих состояний параметров на будущие состояния, то связи концептов с самими собой не будут существовать тоже.

Так работает скрытый слой. Связи между входами и скрытым слоем, скрытым слоем и выходного слоя не имеют коэффициентов и просто транслируют сигнал в их скрытую (или выходную) реализацию без изменений.

Выполнение когнитивной карты начинается с передачи на вход текущих технологических параметров, после – вычисления всех связей единицы – для мгновенного результата – или до момента, пока он не перестанет изменяться – для получения импульсной характеристики модели.

Функциональные когнитивные карты, как одна из упомянутых, имеют возможность отражать динамику установки интерактивно. Поэтому, поведение может иметь колебательный характер. Изменяя весовые коэффициенты  $a_i$ ,  $b_i$  и  $c_i$ , можно стабилизировать модель, пока не будут получены минимальные флуктуации и не будет достигнут предписанный уровень ошибки. Очевидно, что классический градиентный метод, заимствованный из теории нейронных сетей не будет работать правильно.

Этот факт был получен во время исследования таких систем [10, 12, 13]. Написанный для решения функциональных когнитивных карт программный комплекс «Cognitive Map Builder» представлен на рисунке 6.

Теория когнитивных карт и АРС-систем исследуется на кафедре АСУТП УГНТУ уже в течение последних десяти-пятнадцати лет. Текущие исследования направлены на достижения совершенно нового класса таких систем – Самоорганизующихся Инкрементальных Когнитивных Карт.

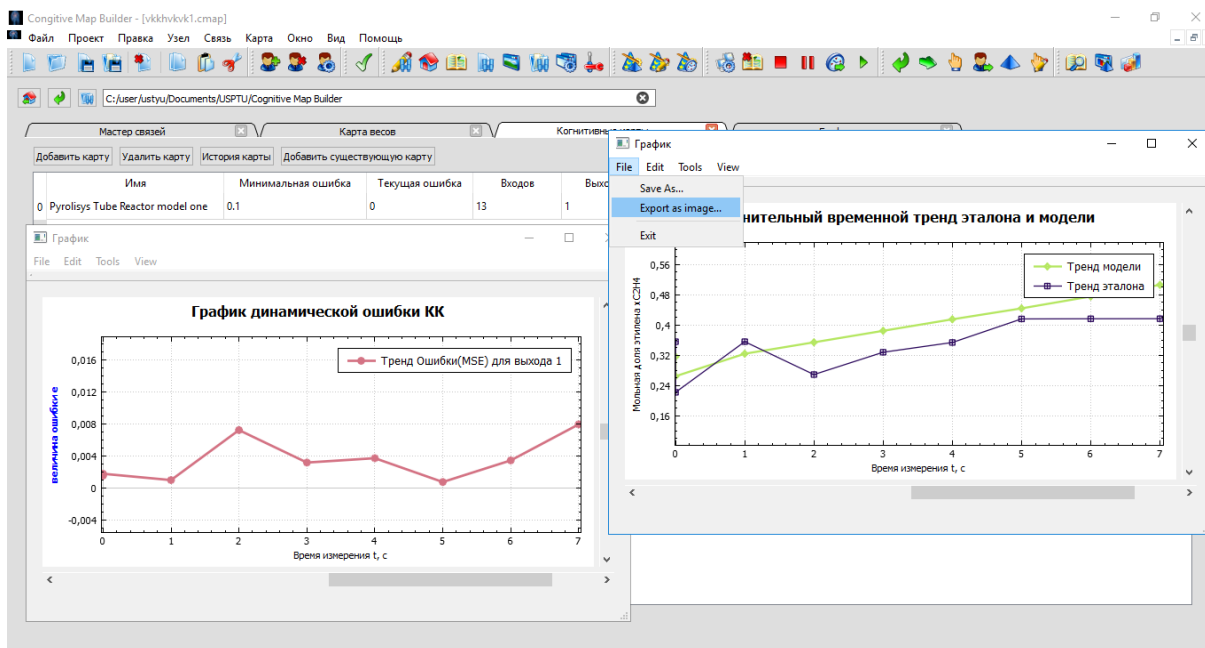


Рисунок 6. ПО «Cognitive Map Builder»

Эта методология сегодня – легчайший путь обеспечения технологией адаптивного моделирования при минимальных затратах. Основные расходы создания адаптивных моделей идут на время моделирования, поиск общего решения, и, по факту, не существует ни одной эквивалентной техники. На сегодняшний день не весь математический аппарат адаптации кристально чист и апробирован, также как «Cognitive Map Builder» остается на стадиях разработки и тестирования, но перспективы этого исследования могут быть новым великим шагом в приближении APCS-технологий.

## Выводы

1. В работе был представлен способ описания адаптивной системы моделирования, отвечающей требованиям безопасности и точности. Среди всех видов систем были отмечены именно когнитивные карты в силу того, что они сочетают в себе преимущества классических моделей и носят специфику обучаемых, интеллектуальных систем.

2. Были сформулированы требования, которые необходимо предъявлять к системам адаптивного моделирования. В соответствии с ними был

описан путь решения проблемы и обозначены основные препятствия. Были конкретизированы условия достижения верного решения.

3. Было описано наиболее оптимальное для нефтехимического комплекса решения и представлены результаты разработок, воплощенные в системе проектирования адаптивных когнитивных карт «Cognitive Map Builder».

## References

1 Aguilar J. Adaptive random fuzzy cognitive maps //Advances in Artificial Intelligence-IBERAMIA 2002. 2002, pp. 402-410.

2 Holland J. H., Reitman J. S. Cognitive systems based on adaptive algorithms //ACM SIGART Bulletin. 1977. №. 63. pp. 49-49.

3 Ioannov P., Fidan B. Adaptive control tutorial // Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia.: SIAM, 2006.

4 Verevkin A. P. Advanced» control systems engineering // Problemy avtomatizacii tehnologicheskikh processov dobychi, transporta i pererabotki nefi i gaza: sb. tr. IV Vseros. zaoch. nauch.-prakt.internet-konf. 2016. S. 21-33.

5 Verevkin A. P. Improving industrial safety based prediction models one xamplet hepolymerization of ethylenein at ubular reactor // Problemy avtomatizacii tehnologicheskikh processov dobychi, transporta i pererabotki nefi i gaza: sb. tr. IV Vseros. zaoch. nauch.-prakt.internet-konf. 2016. S. 13-21.

6 Veryevkin A. P., Kirushin O. V., Urazmetov Sh. F. Managing the process of copolymerization of ethylene propylene rubber in terms of product quality//Oil and gas business/ USPTY. 2012. Vol. 10, № 3. pp.121 - 124.

7 Optimization of process control of oil refining in terms of technical and economic efficiency /A. P. Veryevkin, T. M. Murtazin, R. M. Linetskiy, M. H. Khusniyarov //Problems of production automation, transportation and oil and gas refining: Materials of All-Russian scientific-practical conf./editors Veryevkin, A.P., Ishinbaev, N.A. Ufa: USPTY, 2013. pp. 69-73.



8 Vasil'ev V. I., Il'jasov B. G. Intellektual'nye sistemy upravle-nija. Teorija i praktika: ucheb. posobie. M.: Izd-vo «Radiotehnika», 2009. 392 s. [in Russian].

9 Metod adaptacii modelej operativnoj ocenki pokazatelej kachestva neftehimicheskikh proizvodstv (na primere proizvodstva jetilenpropilenovykh kauchukov) /A. P. Verevkin, O. V. Kirjushin, T. M. Murtazin, Sh. F. Urazmetov // Neftegazovoe delo. 2013. T.11, №4. URL: [http://ngdelo.ru/files/old\\_ngdelo/2013/4/ngdelo-4-2013-p127-132.pdf](http://ngdelo.ru/files/old_ngdelo/2013/4/ngdelo-4-2013-p127-132.pdf) (data obrashhenija 21.11.2016). [in Russian].

10 Verevkin A. P., Ustjuzhanin K. Ju. Obzor podhodov k adaptacii dinamicheskikh modelej v real'nom vremeni // Molodezh' v nauke: Novye argumenty: sb. nauch. rabot II-j Mezhdunar. molodezh. konkursa; Otv. red. A.V. Gorbenko. Lipeck: Nauchnoe partnerstvo «Argument», 2015. Ch. 1. S. 198-203. [in Russian].

11 Sistema operativnogo diagnostirovanija avtomatizirovannogo tehnologicheskogo kompleksa trubchatoy pechi na osnove produkcionnykh pravil /D. S. Matveev, A. V. Chikurov, M. H. Husnjarov, R. N. Bahtizin, A. P. Verjovkin // Neftegazovoe delo: jelektron. nauch. zhurn. /UGNTU. 2011. №4. S.4-13. URL: [http://ogbus.ru/authors/Matveev/Matveev\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/Matveev/Matveev_1.pdf) (data obrashhenija 21.11.2016). [in Russian].

12 Ustjuzhanin K. Ju. Podhod k ocenke pokazatelej kachestva razrabotki i funkcionirovanija adaptivnykh matematicheskikh modelej s ispol'zovaniem nechetkikh kognitivnykh kart // Molodezh' v nauke: Novye argumenty: Sbornik nauchnykh rabot III Mezhdunar. molodezh. konkursa. / Otv. red. A.V. Gorbenko. Lipeck: Nauchnoe partnerstvo «Argument», 2016. Ch. 2. S. 136-141. [in Russian].

13 Ustjuzhanin K. Ju. Razrabotka adaptivnoy modeli processa piroliza benzinovoy frakcii na osnove kognitivnyh kart // Molodezh' v nauke: Novye argumenty: Sbornik nauchnyh rabot III Mezhdunar. molodezh. konkursa / Otv. red. A.V. Gorbenko. Lipeck: Nauchnoe partnerstvo «Argument», 2016. Ch. 2. S.63-69. [in Russian].

### Список используемых источников

1 Aguilar J. Adaptive random fuzzy cognitive maps //Advances in Artificial Intelligence-IBERAMIA 2002. 2002, pp. 402-410.

2 Holland J. H., Reitman J. S. Cognitive systems based on adaptive algorithms //ACM SIGART Bulletin. 1977. №. 63. pp. 49-49.

3 Ioannov P., Fidan B. Adaptive control tutorial // Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia.: SIAM, 2006.

4 Verevkin A. P. Advanced» control systems engineering // Проблемы автоматизации технологических процессов добычи, транспорта и переработки нефти и газа: сб. тр. IV Всерос. заоч. науч.-практ.интернет-конф. 2016. С. 21-33.

5 Verevkin A. P. Improving industrial safety based prediction models one xamplet heopolymerization of ethylenein at ubular reactor // Проблемы автоматизации технологических процессов добычи, транспорта и переработки нефти и газа: сб. тр. IV Всерос. заоч. науч.-практ.интернет-конф. 2016. С. 13-21.

6 Veryevkin A. P., Kirushin O. V., Urazmetov Sh. F. Managing the process of copolymerization of ethylene propylene rubber in terms of product quality//Oil and gas business/ USPTY. 2012. Vol. 10, № 3. pp.121 - 124.

7 Optimization of process control of oil refining in terms of technical and economic efficiency /A. P. Veryevkin, T. M. Murtazin, R. M. Linetskiy, M. H. Khusniyarov //Problems of production automation, transportation and oil and gas refining: Materials of All-Russian scientific-practical conf./editors Veryevkin, A.P., Ishinbaev, N.A. Ufa: USPTY, 2013. PP. 69-73.

8 Васильев В. И., Ильясов Б. Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учеб. пособие. М.: Изд-во «Радиотехника», 2009. 392 с.

9 Метод адаптации моделей оперативной оценки показателей качества нефтехимических производств (на примере производства этиленпропиленовых каучуков) /А. П. Веревкин, О. В. Кирюшин, Т. М. Муртазин, Ш. Ф. Уразметов // Нефтегазовое дело. 2013. Т.11, №4. URL: [http://ngdelo.ru/files/old\\_ngdelo/2013/4/ngdelo-4-2013-p127-132.pdf](http://ngdelo.ru/files/old_ngdelo/2013/4/ngdelo-4-2013-p127-132.pdf) (дата обращения 21.11.2016).

10 Веревкин А. П., Устюжанин К. Ю. Обзор подходов к адаптации динамических моделей в реальном времени // Молодежь в науке: Новые аргументы: сб. науч. работ II-й Междунар. молодеж. конкурса; Отв. ред. А.В. Горбенко. Липецк: Научное партнерство «Аргумент», 2015. Ч. 1. С. 198-203.

11 Система оперативного диагностирования автоматизированного технологического комплекса трубчатой печи на основе производственных правил / Д. С. Матвеев, А. В. Чикуров, М. Х. Хуснияров, Р. Н. Бахтизин, А. П. Веревкин // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. /УГНТУ. 2011. №4. С. 4-13. URL: [http://ogbus.ru/authors/Matveev/Matveev\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/Matveev/Matveev_1.pdf) (дата обращения 21.11.2016).

12 Устюжанин К. Ю. Подход к оценке показателей качества разработки и функционирования адаптивных математических моделей с использованием нечетких когнитивных карт // Молодежь в науке: Новые аргументы: Сборник научных работ III Междунар. молодеж. конкурса. / Отв. ред. А.В. Горбенко. Липецк: Научное партнерство «Аргумент», 2016. Ч. 2. С. 136-141.

13 Устюжанин К. Ю. Разработка адаптивной модели процесса пиролиза бензиновой фракции на основе когнитивных карт // Молодежь в науке: Новые аргументы: Сборник научных работ III Междунар. молодеж. конкурса / Отв. ред. А.В. Горбенко. Липецк: Научное партнерство «Аргумент», 2016. Ч. 2. С.63-69.

### **About the author**

#### **Сведения об авторе**

K. Yu. Ustyuzhanin, Bachelor, Graduate of Master Program of Gr. MUS-15-01, FSBEI HE USPTU, Ufa, Russian Federation

Устюжанин К. Ю., бакалавр, магистрант гр. МУС-15-01, ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

e-mail: [ustyuzhanin.ky@gmail.com](mailto:ustyuzhanin.ky@gmail.com)