

5. Деменков Н.П. Нечеткое управления в технических системах: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 200 с.
6. Соловьев В.В., Финаев В.И. Разработка нечеткого регулятора для двигателя постоянного тока в условиях неопределенности // Вопросы специальной радиоэлектроники. Научно-технический сборник. Серия Общие вопросы радиоэлектроники (ОВР). – 2010. – № 3. – С. 130-139.
7. Passino, Kevin M. Fuzzy control. Addison Wesley Publishing Company. 1997. – 475 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Я.Е. Ромм.

**Соловьев Виктор Владимирович** – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: soloviev-tti@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371773; кафедра систем автоматического управления; старший преподаватель.

**Финаев Валерий Иванович** – e-mail: fin\_val\_iv@tsure.ru; кафедра систем автоматического управления; заведующий кафедрой; профессор.

**Soloviev Victor Vladimirovich** – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: soloviev-tti@mail.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371773; the department of automatic control systems; senior lecturer.

**Finaev Valery Ivanovich** – e-mail: fin\_val\_iv@tsure.ru; the department of automatic control systems; head the department; professor.

УДК 681.3.01:621.311

**М.В. Щербаков, Н.Л. Щербакова, И.П. Козлов, В.А. Камаев**

### **КОННЕКТИВИСТСКИЕ МОДЕЛИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИКИ СИСТЕМ НА КОРОТКИХ ИНТЕРВАЛАХ НАБЛЮДЕНИЯ С ЗАДАНЫМ МНОЖЕСТВОМ КЛАССОВ ПОВЕДЕНИЯ\***

*Дается описание нового подхода идентификации динамических нестационарных систем, основанного на последовательной идентификации поведения системы на коротком интервале наблюдения и построения локальных коннективистских моделей идентификации состояния системы для каждого из определенных классов поведения. Спецификой методики, рассмотренной в данной статье, является заданное заранее множество классов поведения. Проведены испытания методики и показана ее эффективность при решении задач идентификации потребителей электроэнергии.*

*Идентификация; короткий интервал наблюдения; идентификация динамики систем; коннективистская система; интеллектуальный анализ данных.*

**M.V. Shcherbakov, N.L. Shcherbakova, I.P. Kozlov, V.A. Kamaev**

### **CONNECTIONISTS SYSTEMS FOR BEHAVIOR IDENTIFICATION IN SHORT INTERVALS OF OBSERVATION: CASE WITH DEFINED CLASSES OF BEHAVIOUR**

*This article describes a novel approach for dynamic time-varying systems identification. This method is based on a consistent identification of system behavior in short interval of observation and creating local connectionists identification models for each particular class of behavior.*

---

\* Работа поддержана грантом РФФИ № 10-07-97008-р\_поволжье\_а.

*Specificity of suggested methods is a set of classes of behavior given in advance. The result of method testing has been presented and efficiency for problems of energy consumption is shown.*

*Identification; short observation period connectionists system; short-term forecasting; connectionists system; energy consumption; data mining.*

**Введение.** Развитие производства в условиях жесткой конкуренции диктует повышенные требования к современным системам управления. Значительно увеличивается число наблюдаемых (контролируемых) параметров, уменьшается время опроса датчиков, увеличивается скорость принятия решения, изменяется поведение процесса от воздействия внешних возмущений и в течение времени. Это, в свою очередь, отражается на требованиях к системам управления: требуется функционирование в режиме реального времени, обработка потоков данных с минимальным объемом памяти, управление процессами, характеризуемыми цикличностью и повторяемостью, необходимость адаптации параметров и структуры системы (моделей) управления (эволюционные механизмы). Такие требования приводят к концептуальным изменениям в архитектуре систем управления, касающихся компонент сбора и передачи информации, формирования управляющих воздействий и использованию интеллектуальных механизмов обработки данных для управления [1]. Несмотря на имеющиеся подходы к проектированию интеллектуальных систем, критичными вопросами остаются: 1) автоматический выбор и формирование структуры модели объекта; 2) адаптация моделей к изменению поведения объекта управления и внешних воздействий [2, 3].

Если в поведении системы может наблюдаться цикличность в течение некоторого короткого интервала наблюдения  $l$ , то можно сформулировать следующую гипотезу  $H_0$ : построение группы локальных моделей идентификации системы для схожих по поведению интервалов наблюдения приведет к повышению точности идентификации. В этом случае схема вычислений включает процесс идентификации поведения системы на КИН, т.е. определение принадлежности вектора значений состояния на КИН тому или иному классу поведения и идентификации состояния системы. Кроме того, процесс идентификации поведения системы на КИН имеет отдельную ценность в различных предметных областях: экономике, медицине, социальном управлении, управлении энергосбережением [4, 5, 6].

В данной статье рассматривается подход, проверяющий и подтверждающий гипотезу  $H_0$ , построенный на последовательном выполнении процедур идентификации динамики системы на КИН и идентификации состояния системы. В качестве вычислительного базиса используются коннективистские системы [7].

**Постановка задачи идентификации.** Пусть объект характеризуется кортежем

$$O = \langle t, Y, U, \Xi, Z \rangle, \quad (1)$$

где  $Y$  – множество переменных состояния,  $Y = \{y_i\}, i=1, \dots, |Y|$ ,  $U$  – множество управляющих воздействий,  $U = \{u_j\}, j=1, \dots, |U|$ ,  $\Xi$  – множество возмущающих воздействий  $\Xi = \{\xi_k\}, k=1, \dots, |\Xi|$ . В каждый момент времени  $t = 1, 2, \dots, T$  к входам объекта приложены внешние управляющие воздействия  $U(t)$ , возмущения  $\Xi(t)$  и регистрируются значения состояний  $Y(t)$ , в результате чего формируется клеточная матрица наблюдений  $Z_{(y,u,\xi)}$  вида

$$Z_{(y,u,\xi)} = \begin{bmatrix} y_1(t_0) & \dots & y_{|Y|}(t_0) & u_1(t_0) & \dots & u_{|U|}(t_0) & \xi_1(t_0) & \dots & \xi_{|\Xi|}(t_0) \\ y_1(t_1) & \dots & y_{|Y|}(t_1) & u_1(t_1) & \dots & u_{|U|}(t_1) & \xi_1(t_1) & \dots & \xi_{|\Xi|}(t_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_1(T) & \dots & y_{|Y|}(T) & u_1(T) & \dots & u_{|U|}(T) & \xi_1(T) & \dots & \xi_{|\Xi|}(T) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Весь интервал наблюдения можно разделить на  $L$  однородных интервалов длиной  $l$ . Такие интервалы будем называть короткими интервалами наблюдения (КИН). В этом случае матрица  $Z_{(y,u,\xi)}$  включает  $L$  матриц  $Z_{(y,u,\xi),n}$ , где  $n = 1, \dots, L$ . Считаем, что каждому столбцу матриц  $Z_{(y,u,\xi),n}$  может соответствовать значение

$c_m \in C$ , где  $C$  – множество классов, определяющих поведение объекта на КИН. Следовательно, существует отображение  $\gamma$ :

$$\gamma: \mathbf{Y}_{y,n} \rightarrow c_m. \quad (3)$$

Число элементов  $\{c\}$  задается априорно, таким образом рассматривается задача с определенным множеством классов поведения.

Настраиваемую модель идентификации динамики  $M_D(\mathbf{W}_B)$ , в соответствии с (1), представим в виде

$$c^*(n, y, \mathbf{W}_B) = f_c(\mathbf{W}_B^*, y((n-1)l+1), \dots, y((n-1)l+l)), \quad (4)$$

где  $n$  – индекс КИН,  $\mathbf{W}_B^*$  – вектор настраиваемых параметров модели  $M_D(\mathbf{W}_B)$ . Так как функция  $f_c$  не определена, то уравнение (4) переписывается в виде

$$c^*(n, y, \mathbf{W}_B) = f_c(\mathbf{W}_B^*, y^*((n-1)l+1), \dots, y^*((n-1)l+l)). \quad (5)$$

Настраиваемую модель идентификации  $M_I(\mathbf{W}_A)$ , в соответствии с (1), в общем случае представляется в виде

$$y^*(t, y, u, \xi, \mathbf{W}_A) = f_y(\mathbf{W}_A^*, y(t-l), \dots, y(t-l \cdot m_y), u(t+1), \dots, u(t+\alpha_u), \\ ut-1, \dots, ut-m_u, \xi t+\alpha_\xi, \dots, \xi t+\alpha_\xi, \xi t-m_\xi, \dots, \xi t-m_\xi), \quad (6)$$

где  $\mathbf{W}_A^*$  – вектор настраиваемых параметров модели  $M_I(\mathbf{W}_A)$ ,  $m_y, m_u, m_\xi$  – параметры, определяющие глубину погружения,  $\alpha_u, \alpha_\xi$  – параметры горизонта прогнозирования.

Следует решить:

1) задачу структурной идентификации моделей (5) и (6) через отыскание вида функций  $f_c$  и  $f_y$ ;

2) задачу параметрической идентификации моделей  $M_I(\mathbf{W}_A)$  и  $M_B(\mathbf{W}_B)$  по наблюдениям  $\mathbf{Z}$ , как отыскание таких значений векторов  $\mathbf{W}_A^*$  и  $\mathbf{W}_B^*$ , при которых значения ошибок (8) и (11) стремились к минимуму.

3) определить значения состояния объекта  $Y$  на следующем интервале наблюдения  $[T, T+l]$ .

Соответствие настраиваемой модели объекту, т.е. качество идентификации, оценивается критерием качества идентификации  $J_1(\mathbf{W}_A)$  и  $J_2(\mathbf{W}_B)$ , зависящего от невязки  $e$  и параметров  $\mathbf{W}_A$  и  $\mathbf{W}_B$ . Выделим несколько видов функции невязки.

Невязка по всем интервалам наблюдения, определенная на основе среднеквадратичного отклонения:

$$J_1(\mathbf{W}_A) = E(\mathbf{Z}_{(y,u,\xi)}, \mathbf{W}_A) = \frac{1}{L} \sqrt{\sum_{i=1}^L (\mathbf{Y}_i(t) - \mathbf{Y}_i^*(t))^2}, \quad (7)$$

на основе абсолютной процентной ошибки

$$J_1(\mathbf{W}_A) = E(\mathbf{Z}_{(y,u,\xi)}, \mathbf{W}_A) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \frac{|\mathbf{Y}_i(t) - \mathbf{Y}_i^*(t)|}{\mathbf{Y}_i(t)}. \quad (8)$$

Определим оценку  $J_2(\mathbf{W}_B)$  соответствия поведения объекта на коротком интервале наблюдения тому или иному классу, т.е. качество модели  $M_2(\mathbf{W}_B)$ . Невязка для  $i$ -го КИН примет вид

$$e^p(\mathbf{Z}_{(y,u,\xi),p}, \mathbf{W}_B) = (\mathbf{C}(p) - \mathbf{C}^*(p))^2, \quad (9)$$

тогда на основании (4) общая невязка по всем интервалам наблюдения

$$J_2(\mathbf{W}_B) = E^p(\mathbf{Z}_{(y,u,\xi),p}, \mathbf{W}_B) = \frac{1}{L} \sqrt{\sum_{i=1}^T (e^i(\mathbf{Z}_{(y,u,\xi),i}, \mathbf{W}_B))^2}. \quad (10)$$

Существует особенность, связанная с оценкой на основе среднеквадратичного отклонения и типом кодирования элементов  $C$ . Если есть некоторая окрестность  $\epsilon$ , причем  $\epsilon < \Delta C$ , где  $\Delta C$  – абсолютная величина шага кодирования, то значение ошибки (9) будет вычисляться следующим образом:

$$e^p(\mathbf{Z}_{(y,u,\xi),p}, \mathbf{W}_B) = \begin{cases} (\mathbf{C}(p) - \mathbf{C}^*(p))^2, & \text{если } |\mathbf{C}(p) - \mathbf{C}^*(p)| < \epsilon \\ 0, & \text{если } |\mathbf{C}(p) - \mathbf{C}^*(p)| \geq \epsilon \end{cases}. \quad (11)$$

**Коннективистские системы как базис для решения задачи идентификации.** Коннективистская система (КС) представляется в виде

$$CS = \langle UN, RE, LY, F, PR, \Phi \rangle, \quad (12)$$

где  $UN$  – множество элементов,  $RE$  – множество связей,  $LY$  – множество групп элементов (слоев),  $F$  – множество функций преобразования информации  $UN$ ,  $PR$  – процедура настройки значений связей  $RE$  для минимизации функционала  $\Phi$ .

Схематично такая структура представлена на рис. 1.

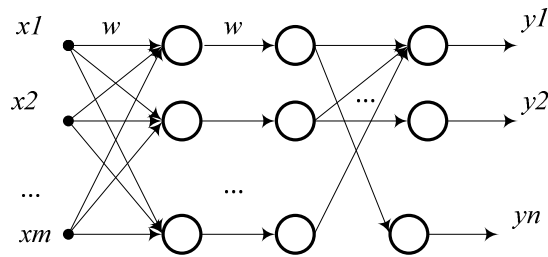


Рис. 1. Структура коннективистской системы

Формально коннективистская система (12) при данной формализации обобщает в себе различные модели (например, скользящего среднего, линейной регрессии, нейросетевые модели, модели классификации и кластеризации). Отметим, что коннективистская система, в общем случае, может представлять собой совокупность фреймов, в которых располагаются различные модели, а решение формируется на основе консолидации модели.

Определим гибридную коннективистскую систему как

$$GCS = \langle FR, CS, AG, \Phi \rangle, \quad (13)$$

где  $FR$  – множество слотов, (фреймов) объединяющих подмножество систем  $CS$ ,  $AG$  – множество КС, выполняющих агрегацию выходной информации систем  $CS$ . Такое обобщение позволяет:

- 1) применять различные КС для решения задачи идентификации одного объекта и принимать решение на основе коллегиального решения;
- 2) использовать различные КС для идентификации динамики системы в КИН в зависимости от эволюции изменения поведения систем;
- 3) автоматизировать процесс подбора прогнозных моделей, в процессе которого уменьшается значение функции потерь  $\Phi$ ;
- 4) использовать механизмы настройки (обучения) посредством модификации значений связей между фреймами  $FR$ .

**Методика решения задачи идентификации динамики систем на коротких интервалах наблюдения.** *Общее описание методики.* Методика решения задачи включает операции формирования и настройки модели (шаг 1–5) и формирования прогнозных значений (шаг 6–8).

Шаг 1. Задать матрицу наблюдений  $Z$  и параметры, характеризующие процесс:  $T, l, L, N_C$  – число элементов множества  $C$ .

Шаг 2. Построить модель  $M_D(W_B)$  идентификации динамики системы на КИН, т.е. реализующую оператор (3) с критерием качества (10).

Шаг 3. Для каждого КИН  $i = 1, \dots, L$  определить значения  $c_{m,i} \in C$  на основании результатов функционирования модели  $M_D(W_B)$ .

Шаг 4. Для каждого  $j$ -го элемента множества  $C$ , где  $j = 1, \dots, N_C$ , сформировать модели идентификации  $M_{I,j}(W_{A_j})$  с критерием качества (8) и матрицы наблюдений  $Z_{(y,u,\xi),p}$ , где  $p$  – индексы КИН, поведение системы на которых соответствует  $j$ -му элементу множества  $C$ .

Шаг 5. Сформировать модель  $M_Q(\mathbf{W}_Q)$ , реализующую отображение  $\mu: \{c_{1..T}\} \rightarrow c_{T..T+l}$ , т.е. прогнозирующую значение класса поведения системы на интервале прогнозирования  $[T, T + l]$ .

Шаг 6. Вычислить значение  $c_k$  на интервале прогнозирования  $[T, T + l]$  с использованием модели  $M_Q(\mathbf{W}_Q)$ .

Шаг 7. Выбрать модель с индексом  $c_k$  среди моделей  $M_{I,j}(\mathbf{W}_{A_j})$ ,  $j = 1, \dots, N_C$ .

Шаг 8. Вычислить значения состояний объекта на интервале прогнозирования  $[T, T + l]$  с использованием модели  $M_{I,c_k}(\mathbf{W}_{A_{c_k}})$ .

Функциональная схема идентификации представлена на рис. 2.

*Модели идентификации.* Для построения модели  $M_D(\mathbf{W}_B)$  использованы методы автоматической классификации и кластеризации на основе самоорганизующихся сетей Кохонена и алгоритмов k-means, адаптированные к решению задачи кластеризации с заданным множеством состояний [1]. В этом случае параметры модели  $\mathbf{W}_B$  отыскиваются в процессе минимизации целевой функции:

$$J = \sum_{j=1}^{N_C} \sum_{i \in S_j} \|u(i) - b_j\|^2 \rightarrow \min_{b_j}, \quad (14)$$

где  $i$  – индекс элементов множества  $S_j$ , и  $b_j$  – центры кластеров. Множество  $S_j$  включает все индексы элементов данных, которые принадлежат кластеру  $j$ , т.е. находящиеся не далее заданного расстояния от центра кластеров.

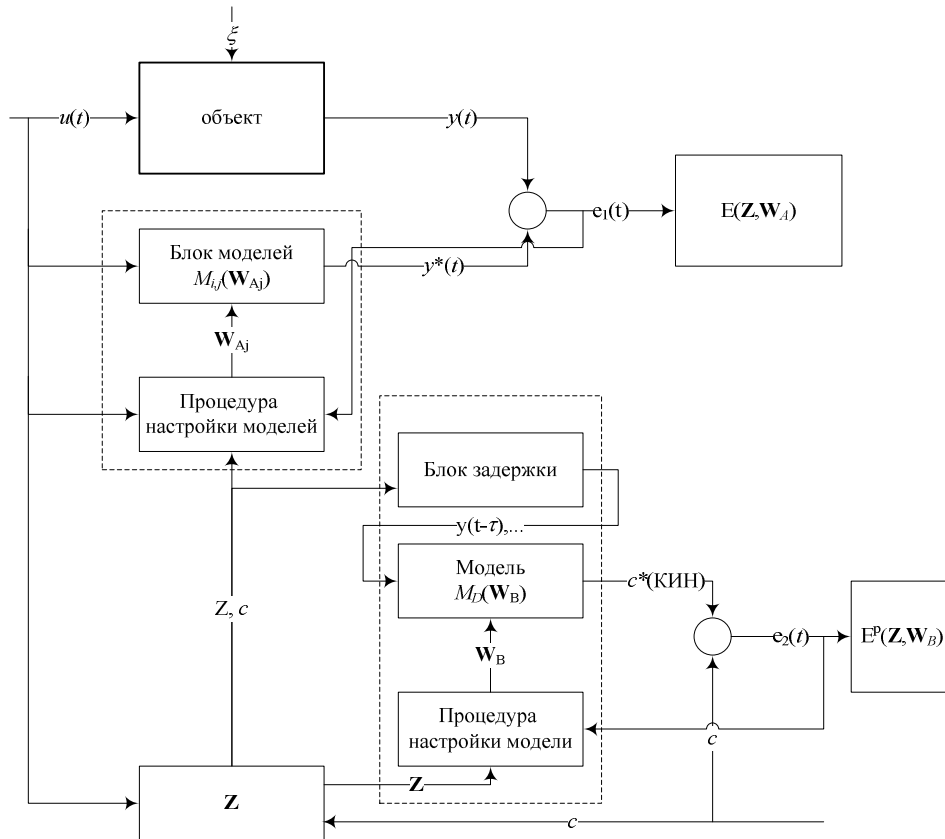


Рис. 2. Функциональная схема идентификации

В качестве моделей идентификации состояний  $M_{i,j}(\mathbf{W}_{A_j})$  используются модели скользящего среднего.

**Реализация методики.** *Апробация методики на практической задаче.* Ниже представлены результаты реализации методики для идентификации процесса потребления электроэнергии одного из коммерческого здания (см. рис. 3). Потребление электроэнергии носит циклический характер, и, исходя из этого можно определить величину КИН, равному числу наблюдения в течение дня, т.е.  $l = 96$ .

Шаг 1. Задается матрица наблюдений  $\mathbf{Z}$  (в данном случае  $\mathbf{Z}_{(y)}$ ) и параметры, характеризующие процесс:  $T = 21\ 216$ ,  $l = 96$ ,  $L = 221$ ,  $N_C = 3$ . Кроме того, выделены КИН для тестирования моделей идентификации.

Шаг 2. Выполняется построение модели  $M_D(\mathbf{W}_B)$ : число элементов первого слоя равно  $l$ , число кластеров задано на шаге 1, равным  $N_C$ .

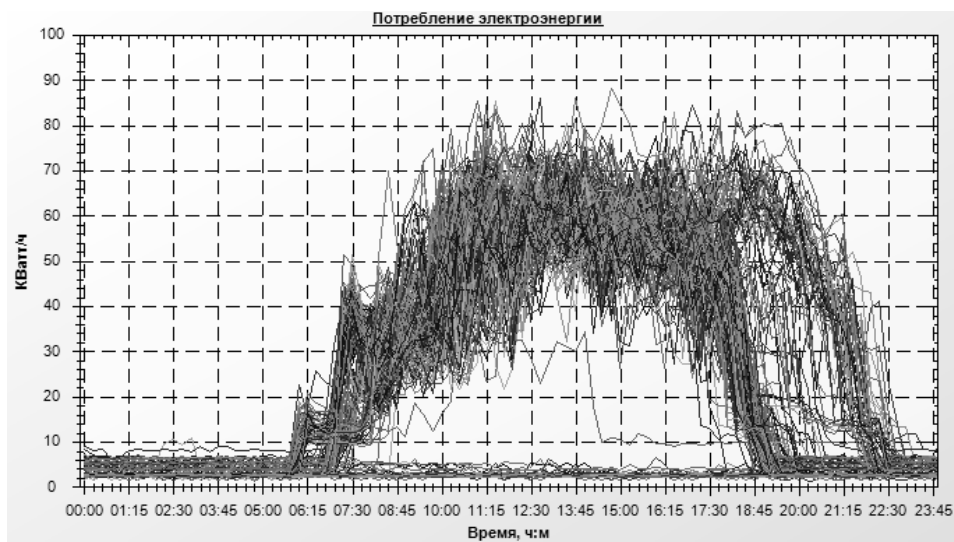


Рис. 3. Графики потребления электроэнергии на КИН (с 00:00 до 23:45) для здания торгового центра

На рис. 4 отображены средние профили потребления для каждого кластера по результатам применения различных подходов.

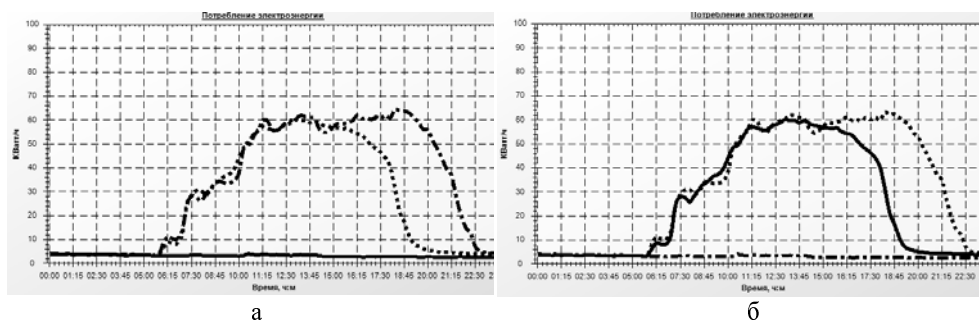


Рис. 4. Средние профили кластеров для здания ТЦ полученные: а – методом Кохонена; б – методом k-means

Шаг 3. Для каждого  $i$ -го КИН  $i = 1, \dots, L$  определяются значения  $c_j$  на основании результатов функционирования модели  $M_D(\mathbf{W}_B)$ .

Шаг 4. Для каждого кластера были созданы 3 модели идентификации  $M_{I,j}(\mathbf{W}_{A_j})$  на основе модели скользящего среднего.

Шаг 5. Модель  $M_Q(\mathbf{W}_Q)$  выбрана модель, реализующая функцию выбора кластера на интервале прогнозирования  $[T, T + l]$  согласно формуле

$$c = \arg(\max_{i=1}^3(u_i)),$$

где  $u_i$  – число КИН из окна  $D$ , профили которых принадлежат  $i$ -му кластеру, где  $D = 4$ .

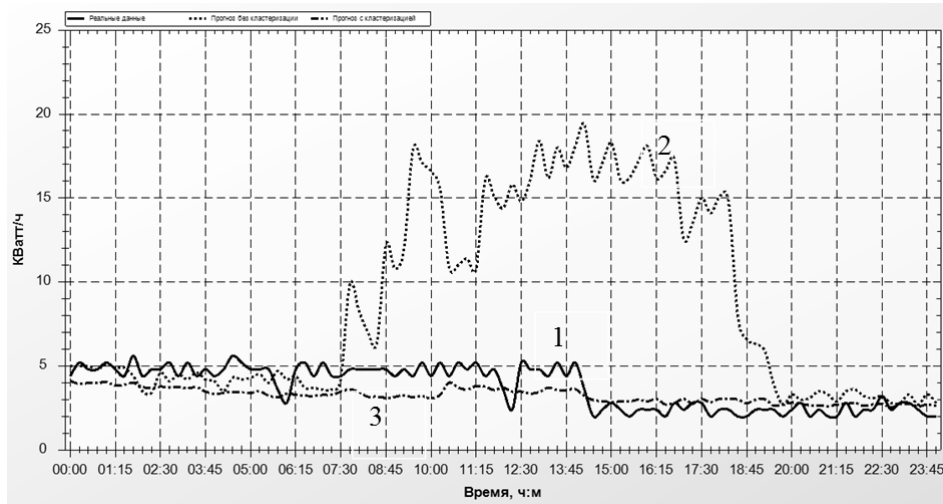


Рис. 5. Графики потребления электроэнергии для КИН 222, где 1 – реальные данные, 2 – прогноз без идентификации динамики на КИН, 3 – прогноз с использованием методики

Шаг 6. На основе результатов функционирования модели  $M_C(\mathbf{W}_C)$  значение  $c$  на интервале прогнозирования  $[T, T + l]$ , при  $T = 21$ , равно 1. Следовательно, предполагаем, что на интервале  $[T, T + l]$  прогнозируемая динамика поведения системы будет соответствовать среднему потреблению для кластера 1.

Шаг 7. Выбрать модель  $M_{I,1}(\mathbf{W}_{A_1})$ .

Шаг 8. Вычисленные значения состояний объекта на интервале прогнозирования  $[21, 216, 21, 312]$  в результате функционирования модели  $M_{I,c}(\mathbf{W}_{A_c})$  представлены в табл. 1 и на рис. 5.

Таблица 1

Ошибка идентификации		
Е	Без идентификации динамики на КИН	С применением методики
КИН 222	134,1 %	13,62 %
КИН 222 – 234	21,09 %	15,51 %
КИН 1 – 234	29,46 %	22,84 %

Определение качества идентификации в зависимости от количества кластеров. Была проанализирована зависимость изменения ошибки от числа кластеров  $N_C$ . В табл. 2 и на рис. 6 приведены результаты для 3-х объектов идентификации.

Таблица 2

**Зависимость ошибки идентификации от числа кластеров**

Здание	Ошибка	Число кластеров								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	E1	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82
	E2	6,32	6,00	5,85	5,63	5,61	5,57	5,55	5,57	5,61
	E3	5,72	5,63	5,59	5,67	5,64	5,73	5,47	5,42	5,28
2	E1	32,21	32,21	32,21	32,21	32,21	32,21	32,21	32,21	32,21
	E2	25,85	25,11	22,30	22,92	21,78	21,32	21,87	20,10	21,41
	E3	27,09	23,46	23,31	22,43	22,00	22,10	21,13	21,16	11,60
3	E1	29,66	29,66	29,66	29,66	29,66	29,66	29,66	29,66	29,66
	E2	25,61	23,01	22,51	22,27	21,44	21,86	21,99	22,00	20,38
	E3	25,61	22,99	22,30	21,68	21,85	21,83	21,80	21,69	21,59

Отметим повышение качества идентификации с увеличением числа кластеров. Однако, в некоторых случаях ошибка идентификации может возрастать (рис. 6, а,б), что требует усложнения модели прогнозирования  $M_C(W_C)$ . В связи с этим можно определить оптимальное значение  $N_C$ .

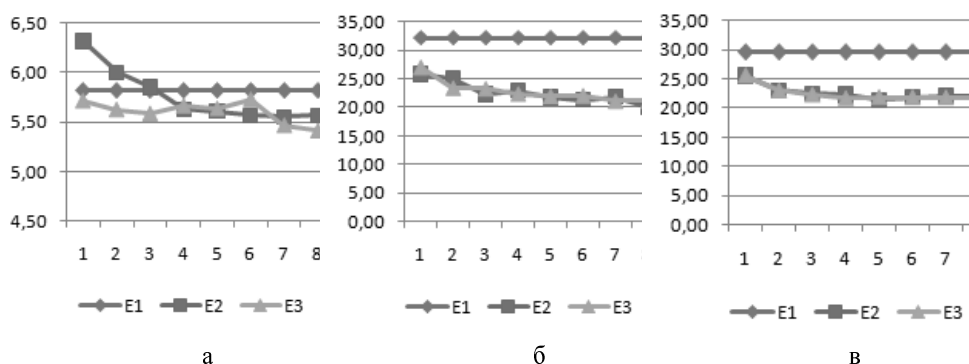


Рис. 6. Зависимости ошибки (ось ординат) от числа кластеров (ось абсцисс) для 3-х разных объектов идентификации: а – здание 1; б – здание 2; в – здание 3

**Заключение.** В статье приведена методика идентификации нестационарного объекта на основе коннективистских систем для реализации интеллектуальных систем управления. Отличием данной методики от подхода построения одной нелинейной многопараметрической модели является предварительная идентификация поведения объекта на коротких интервалах наблюдения и синтеза локальных моделей в соответствии с числом классов. Методика улучшает качество идентификации, даже используя простые модели идентификации (например, скользящего среднего), не требующих значительных временных затрат на вычисления. Именно это позволяет использовать этот подход для идентификации и управления в режиме реального времени и значительно снизить временные затраты на выполнение процедуры предварительного поиска оптимального набора входных параметров [8, 9].

Показана эффективность методики при решении задачи идентификации объекта потребителя электроэнергии. Приведено сравнение результатов применения методики и результатов полученных при применении подхода синтеза одной многопараметрической модели для всего многообразия профилей. Для некоторых объ-



ектов получено снижение ошибки в 2 раза. Проанализирована зависимость изменения ошибки от числа кластеров.

Данная методика может быть применена для идентификации систем при априорно определенном числе классов поведения (или режимов работы). Более того, методика расширяется на решение задачи идентификации без определенного числа классов поведения за счет модификации алгоритмов синтеза и функционирования модели  $M_D(\mathbf{W}_B)$ .

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Nelles O.* Nonlinear System Identification. – Springer, 2001, ISBN 3-540-67369-5.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления. В 5-ти томах. Т. 5. Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с.
3. *Гаврилов А.В.* Гибридные интеллектуальные системы. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 168 с.
4. *Камаев В. А., Щербаков М. В., Панченко Д. П., Щербакова Н. Л., Бребельс А.* Применение коннективистских систем для прогнозирования потребления электроэнергии в торговых центрах / Управление большими системами. Вып. 31. – М.: ИПУ РАН, 2010. – С. 92-109.
5. *Меламед М.А.* Современные методы анализа и прогнозирования режимов электропотребления в электроэнергетических системах // Итоги науки и техники. Энергетические системы и их автоматизация. – 1988. – Т. 4. – С. 4-11.
6. *Камаев В.А., Щербаков М.В., Скоробогатченко Д.А.* Применение нечетких нейросетевых моделей для идентификации состояния автомобильных дорог // Вестник компьютерных и информационных технологий. – М.: Машиностроение, 2010. – Вып. 12. – С. 36-41.
7. *Kasabov N.* Evolving connectionists systems. The Knowledge Engineering Approach. Softcover. 2007. – 451 p.
8. *Щербаков М.В.* Методика выбора значимых параметров для краткосрочного прогнозирования энергопотребления / М.В. Щербаков, Н.Л. Щербакова, А. Бребельс // Межвуз. сб. науч. ст. Серия “Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах”. Вып. 9. – Волгоград: ВолгГТУ, 2010. – № 11. – С. 68-71.
9. *Щербаков М.В.* ICDMS – программное обеспечение как сервис для решения задач идентификации на основе коннективистских систем // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2009. – №. 7. – С. 88-91.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.С. Боровик.

**Камаев Валерий Анатольевич** – Волгоградский государственный технический университет; e-mail: cad@vstu.ru; 400131, г. Волгоград, пр. Ленина 28; тел.: 88442248100; зав. кафедрой САПР и ПК; д.т.н., профессор.

**Щербаков Максим Владимирович** – e-mail: vstu@gebeus.ru; доцент кафедры САПР и ПК; к.т.н.

**Щербакова Наталия Львовна** – e-mail: snl@gebeus.ru; кафедра экспериментальной физики; к.т.н. доцент.

**Козлов Илья Петрович** – e-mail: benkyo.nanodesu@gmail.com; магистрант кафедры САПР и ПК.

**Kamaev Valery Anatolievich** – Volgograd State Technical University; e-mail: cad@vstu.ru; 28, Lenin avenue, Volgograd, 400131, Russia; phone: +78442248100; head of CAD/CAE systems department; dr. of eng. sc.; professor.

**Shcherbakov Maxim Vladimirovich** – e-mail: vstu@gebeus.ru; associate professor CAD/CAE systems department; cand. of eng. sc.

**Shcherbakova Natalia Lvovna** – e-mail: snl@gebeus.ru; associate professor experimental physics department; cand. of eng. sc.

**Kozlov Ilya Petrovich** – e-mail: benkyo.nanodesu@gmail.com; CAD/CAE systems department, 1<sup>st</sup> year Mater course student.