



## УСЛОВИЕ ИНВАРИАНТНОСТИ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ К НЕСТАЦИОНАРНЫМ ВОЗМУЩЕНИЯМ

**Соколова О.В.**

*Херсонский национальный технический университет*

*В статье рассмотрены вопросы систематизации методов построения систем распознавания образов. Приведена классификация методов распознавания. Выполнен анализ условий инвариантности систем распознавания по отношению к возмущениям объекта и внешней среды. Получено условие инвариантности системы к нестационарным возмущениям: система должна иметь контур обратной связи, который воспроизводит по гипотезе входную информацию.*

**Постановка проблемы.** В настоящее время для моделирования процесса обучения применяется очень большое количество моделей, основанных на различных теориях. Однако можно утверждать, что исчерпывающих результатов в области компьютеризации обучения не достигнуто. Это связано с большой сложностью и динамичностью объекта управления. При этом предполагается, что процесс обучения представляет собой последовательную совокупность освоения отдельных разделов учебного материала, для каждого из которых формируется информационный поток. При рассмотрении процесса обучения будем исходить из концепции информационной технологии, и рассматривать задачу обучения как задачу обработки информационного потока, что предложено в [1]. Формирование знаний рассматривается как «отложенные» реакции для системы без обратной связи. Данный подход реализует фиксированную траекторию обучения. В этом случае производится периодическая проверка результатов обучения, и, при необходимости, производится повторный цикл обучения. Достоинством такой схемы является упрощение и удешевление обучения. Не останавливаясь на недостатках, подчеркнем второе существенное достоинство – структура обеспечивает идеальный результат при постоянных внешних условиях и соответствии траектории обучения объекту обучения. Собственно, это принцип управления по возмущению, где внешняя среда всегда известна, а объект стационарен. При контроле объект обучения рассматривается как источник сигнала – сообщения. В этом случае для простой схемы обработки информации имеем источник информации – учитель (обучающий), формирующий прообраз, и приемник информации – обучаемый, формирующий образ. При этом источник информации – учитель, выступает как источник внешнего воздействия, компенсируемого реакцией обучаемого. В этом случае объект охвачен обратной связью, и реализуется система управления по отклонению [2]. Данная схема предполагает рассмотрение обучения в виде процесса накопления информации о формировании реакции обучаемого как компенсирующего воздействия. При таком подходе естественно возникает проблема измерения рассогласования между образом и прообразом, первой частью которой можно считать проблему распознавания. Начать следует с систематизации методов построения систем распознавания образов и анализа условий инвариантности систем распознавания по отношению к возмущениям объекта и внешней среды.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Говоря о распознавании образов как о «разделе математической кибернетики, разрабатывающий принципы и методы классификации, а также идентификации предметов, явлений, процессов, сигналов, ситуаций – всех тех объектов, которые могут быть описаны конечным набором некоторых признаков или свойств, характеризующих объект» [3], рассмотрим подходы к систематизации методов построения систем данного класса. Для начального периода становления теории характерна попытка систематизации по структурным признакам [4].

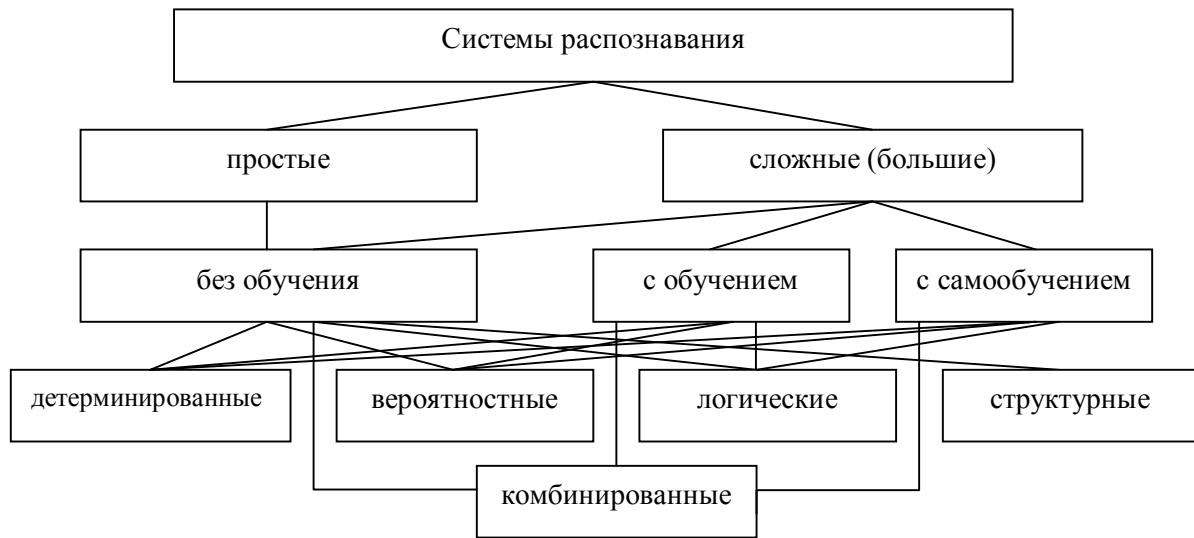


Рисунок 1 – Классификация методов распознавания

В дальнейшем ощущение неполноты потребовало новых подходов к классификации методов и систем в данной области.

Так разделив все методы по отношению к описанию объекта [5], было получено разделение на два класса:

- интенциональные методы, основанные на операциях с признаками.
- экстенциональные методы, основанные на операциях с объектами.

Данная классификация представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация методов распознавания

Интенсианальные методы распознавания	Методы, основанные на оценках плотностей распределения значений признаков (или сходства и различия объектов)
	Методы, основанные на предположениях о классе решающих функций
	Логические методы
	Лингвистические (структурные) методы
Экстенсионльные методы распознавания	Метод сравнения с прототипом
	Метод k ближайших соседей

В данном случае классификация мало изменилась и практически это перечисление сформировавшихся методов, таким образом, за достаточно большой период времени классификация методов практически не менялась, оставаясь недостаточной для оценки возможностей метода.

**Цель статьи.** Целью данной статьи является систематизация методов построения систем распознавания образов и анализ условий инвариантности систем распознавания по отношению к возмущениям объекта и внешней среды.

**Основная часть.** Исходя из наиболее общих позиций, рассмотрим множество объектов  $\Omega$ , подлежащих распознаванию. Задание множества  $\Omega$  является делом нетривиальным. Действительно, задать  $\Omega$  стандартными формальными методами: перечислительным, предикатным и алгебраическим, невозможно. Декларируется, что имеются знания о каждом из элементов этого множества. Однако, есть тонкость – элемент множества  $\Omega$ ,  $\omega_i$  не является физическим объектом – это определение, описание или, если угодно, наименование объекта. Действительно, «объект» как элемент множества объектов – это утверждение о наличии объекта, соответствующего определению свойств, однако в данном случае предполагается достаточность информации о данном объекте. Таким образом, каждому образу соответствует его реализация  $f$ , зависящая от образа и параметра  $\rho$  в пространстве реализации:



$$\begin{aligned} \varpi_i &\in \Omega; \\ \varpi_i &\rightarrow f_i(\rho). \end{aligned} \tag{1}$$

Наприклад, об'єкт в евклидовому просторі описується функцією від трійки  $x, y, z$ , а речовий сигнал залежить від часу  $t$ , єдиним, що їх об'єднує це те, що в множину об'єктів входить факт наявності і описання, а реально існує фізична реалізація. Єстественно, образ може мати структуру, описувану логічною функцією  $L(a_1, \dots, a_n)$ . Це естественно породжує ряд властивостей об'єкта, але не є основопологаючим, так як урахувано в заданні множини як обмеження. Следовательно, головним є наявність знань про об'єкт. Так як знання є основа представлення об'єкта, то можна говорити про наявності моделі об'єкта  $f_i^*$  або еталона об'єкта, створюваного на основі цих знань.

Єстественно, якщо ми знаємо про об'єкті все, то і модель як еталон буде описувати всі елементи і властивості об'єкта. При цьому, якщо ми зможемо побудувати еталон, то знаємо його структурні зв'язки, описувані логічними функціями.

При реалізації вимірювань має місце дискретизація. Ведемо решітку  $\delta$  і виконаємо дискретизацію реалізації, наприклад, для плоского зображення:

$$\begin{aligned} \delta &= \delta(x - \Delta x \cdot i, \quad y - \Delta y \cdot j) \\ f_{ij} &= \iint_s \delta_{ij} f dx dy. \end{aligned} \tag{2}$$

Наявність спотворень реалізації образу породжує проблему збігання решітки дискретизації сигналу образу, і еталона. Звичайно передбачається достаточність афінного перетворення для збігання еталона і сигналу образу, що породжує метод нормалізації зображення [4]:

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= D\mathbf{x}_0; \\ D^* &\rightarrow \inf \mu \{f_i(\mathbf{x}), f_i^*(D\mathbf{x}_0)\}, \end{aligned} \tag{3}$$

де  $D$  – матриця афінного перетворення,  $\mu$  – метрика в просторі сигналів.

Єстественно, що в реальних системах первинні інформаційні перетворювачі мають певний закон перетворення зображення. Так для телевізійної системи перетворення точок зображення в послідовний сигнал визначається «телевізійною розверткою»:

$$\begin{aligned} x_i &= \Delta x \cdot i, \quad i = \overline{1, n}, \quad k = k + 1 \quad \text{if} \quad i = n; \\ y_i &= \Delta y \cdot l, \quad l = \overline{1, m}; \\ \dim i &= k = m \cdot n. \end{aligned} \tag{4}$$

Однако, крім просторових спотворень присутні випадкові завади – шуми і сигнал, отримуваний від первинних перетворювачів інформації, буде відрізнятися від еталона навіть при точній нормалізації.

Следовательно, при вимірюванні для нормалізованого сигналу маємо реалізацію сигналу образу:

$$\begin{aligned} Y_i &= f_i(\mathbf{x}); \\ Y_i^* &= f_i^*(A\mathbf{x}_0). \end{aligned} \tag{5}$$

Таким чином, ми отримуємо  $k$  відліків теоретичної і спостереженої функції. Так як при відповідності моделі і об'єкта існує функціональна зв'язок між моделлю і об'єктом використовуємо регресію моделі на об'єкт:

$$Y_i = a_0 + a_1 Y_i^* + a_2 Y_i^{*2} + \dots + S. \tag{6}$$



Коэффициенты регрессии для центрированных сигналов модели и объекта:

$$m_y = M\{Y\}, \quad m_{y^*} = M\{Y^*\}, \quad \overset{o}{Y}_i = Y_i - m_y, \quad \overset{o}{Y}_i^* = Y_i^* - m_{y^*} / \quad (7)$$

определяются соотношениями

$$a_0 = m_y - a_1 m_{y^*} = M\{Y_i - a_1 Y_i^*\}, \quad a_1 = \frac{\sum_{i=1}^k \overset{o}{Y}_i \cdot \overset{o}{Y}_i^*}{\sum_{i=1}^k \overset{o}{Y}_i^2} = R_{yy^*} \quad (8)$$

При этом в случае полного совпадения сигналов объекта и эталона получаем:

$$\begin{aligned} Y_i &= Y_i^*; \\ a_0 &= 0; \\ R_{yy^*} &= 1. \end{aligned} \quad (9)$$

Следовательно, остаток  $S$  должен быть равен нулю и можно выделить два типа критериев близости – критерии первого порядка:

$$\eta_1 = \varphi(M\{Y_i - a_1 Y_i^*\}), \quad (10)$$

и критерии второго порядка:

$$\eta_2 = \varphi(R_{yy^*}). \quad (11)$$

Причем, при несовпадении эталона и объекта ни один из этих критериев не является достаточным, так как следует учитывать остаток регрессии

$$Y_i - a_0 - a_1 Y_i^* = S_i \neq 0. \quad (12)$$

Однако, этот факт игнорируется практически всегда, и рассматриваются отдельно корреляционные методы, отдельно методы сравнения с эталоном и естественно эвристические методы, которых как видно из уравнения регрессии, можно сочинить много.

Таким образом, можно выделить необходимые операции:

- нормализация,
- фильтрация,
- определение меры близости с эталоном.

Относительно меры близости системы можно классифицировать, опираясь на используемые при представлении зависимости члены регрессии (6).

Однако, существует проблема инвариантности систем распознавания. Суть проблемы в сохранении характеристик системы при изменении внешних условий и изменении собственно объектов распознавания  $\Omega$ . Предположим конечность, счетность и наличие информации  $I_{\omega_i}$  о каждом объекте  $\omega_i$ , достаточной для его реализации. В таком случае мы получаем возможность ставить задачу нахождения оптимального, с точки зрения выбранного критерия  $\zeta$ , соответствия  $A$ , описывающего связь между множеством объектов  $\Omega$  и множеством решений  $Y_r$ . Вводя множество истинных решений  $Y_0$ :

$$\begin{aligned} A: \Omega &\rightarrow Y_r; \\ A^*(I_{\omega}) &\rightarrow opt \xi(Y_0, Y_r) = \zeta^*. \end{aligned} \quad (13)$$

В такой постановке условием сохранения качества системы  $\zeta^*$  является неизменность или стационарность элементов множества объектов  $\Omega$ . При этом зависимость соответствия от полноты информации о распознаваемых объектах существенна, так как точное построение эталона требует знания всех значимых коэффициентов регрессии (6).



Поскольку нас интересует наиболее общее свойство – условие существования решения класса задач, воспользуемся описанием задачи в рамках теории множеств. Кроме множества известных объектов  $\Omega$  на результат влияют элементы множества возмущений  $G$ . Предположение о счётности, конечности и определенности множества  $G$  позволяют рассматривать множества  $I_g$  и  $I_\omega$ , информации о возмущениях и объектах, как задания этих множеств.

В общем случае, множества  $\Omega$  и  $G$ , находятся в общем положении, что позволяет рассматривать наиболее общий случай. Однако пересечение множества объектов  $\Omega$  и множества возмущений  $G$  порождает множество неразличимых входных состояний  $S$  и разумно доопределить одно из входных множеств. Но это равносильно устранению общей части этих множеств, включение общей части в одно из множеств тоже изменяет задачу, приводя к задаче с непересекающимися входными множествами:

$$\Omega \cap G = \emptyset. \quad (14)$$

В этом нет противоречия, так как отсутствие пересечения, к сожалению, не делает задачу проще, так как это означает только неразличимость, а возможность одновременного предъявления элемента множества образов и возмущений сохраняется. Свойство отсутствия пересечения входных множеств не упрощает задачу, так как входная ситуация не сводится к прямому произведению из-за неопределенности связи объектов и возмущений.

Тогда соответствие  $A$  будет зависеть от информации о обоих множествах и задача принимает вид:

$$\begin{aligned} A : (\Omega \cup G) &\rightarrow Y_r; \\ A^* (I_\omega, I_g) &\rightarrow \text{opt} \xi = \zeta^*. \end{aligned} \quad (15)$$

При этом, как определено ранее, ограничения в данной задаче неявно содержатся в определении множеств  $\Omega$  и  $G$ . Условие инвариантности или независимости от внешних возмущений при стационарности множества объектов выглядит просто условием независимости от возмущений:

$$A^* : (\Omega \cup G) = A^* : (\Omega) \rightarrow \inf |\bar{Y}|. \quad (15')$$

Таким образом, основным условием достижимости инвариантности является конечность и определенность установленного соответствия для множества объектов, возмущений, и решений, и как следствие, их стационарность.

Однако, на практике на первом этапе реализации системы объединение множества объектов  $\Omega$  и множества известных возмущений  $G$  воспринимаются как единое множество объектов  $\Omega_r$ . Однако вскоре выясняется, что не все возмущения учтены и возникает желание дополнить систему процедурой коррекции решения. Тогда, используя информацию о возмущениях  $I_g$ , учитывается влияние множества возмущений при помощи отдельного соответствия  $Q$ , определяющего множество  $Z$ , корректирующее решения при наличии возмущений:

$$Q(I_g) : G = Z. \quad (16)$$

Так как при наличии возмущений оптимальность системы нарушается и даже для оптимального соответствия (15) получаем ошибочное решение  $Y_r$ :

$$A^* : (\Omega \cup G) \rightarrow Y_r. \quad (17)$$

Формально учитывая свойства соответствия можно записать

$$A^* : (\Omega \cup G) = (A^* : \Omega) \cup (A^* : G) \rightarrow Y_r = Y \cup Z. \quad (18)$$



Собственно условие (18) означает раздельное наблюдение объектов и помех, точнее предположение о разделимости описаний объектов и возмущений. Данное предположение, как правило, положено в основу методов распознавания, где прослеживается стремление устранения влияния возмущений.

Для получения необходимого результата необходимо определение соответствия по каналу возмущения таким, что бы выполнялось условие:

$$Y_r / (Q^* : G) = Y. \quad (18)$$

Следовательно, для работы системы в условиях воздействия возмущений необходимо определить композицию соответствий:

$$[(A^*(I_\omega) : \Omega) \cup (Q^*(I_g) : G)] \setminus (Q^*(I_g) : G) \rightarrow Y_r \setminus Z = Y. \quad (19)$$

Естественно, оба соответствия могут быть определены наилучшим – оптимальным образом:

$$\begin{aligned} A^* : (\Omega \cup G) &= A^* : (\Omega) \rightarrow \inf |\bar{Y}|; \\ Q^* : G &\rightarrow \inf |Z|. \end{aligned} \quad (20)$$

Однако, условие сохранения качества системы выполнимо только в случае полного знания о возможных возмущениях, то есть когда полностью исключены случайности. Верно и обратное: в условиях неопределенности возмущений и нестабильности объекта система будет ошибаться. Структурно получаем достаточно простое устройство, структура которого изображена на рис. 2.

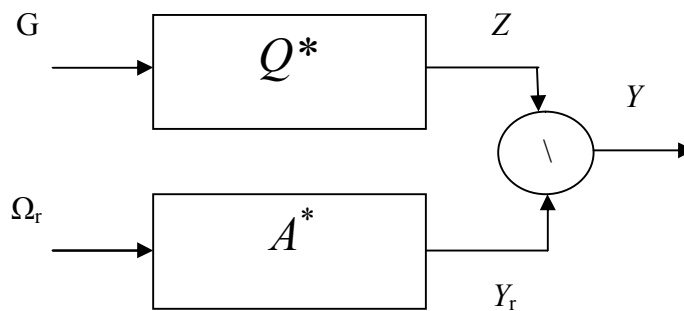


Рисунок 2 – Структура системы распознавания при коррекции возмущений

Таким образом, к сожалению, в реальной системе, построенной на основе выбора фиксированного оптимального соответствия в условиях неопределенности возмущений, ошибки неизбежны.

Естественное желание сохранения инвариантности приводит к известному в теории искусственного интеллекта принципу сравнения с истинным решением [4]. Предполагая наличие источника истинного множества решений  $Y_0$ , как учителя или внешней системы, получаем возможность вычисления ошибки, и создавать системы адаптации, однако эти системы учатся на своих ошибках, а это слабое утешение в реальных нестационарных процессах, так как система будет допускать ошибки. С другой стороны, предположение знания множества объектов  $I_\omega$  позволяет предположить существование обратного соответствия, позволяющего на основе множества решений восстановить описание входных объектов – множества объектов:

$$A^{*-1} : Y \rightarrow \Omega. \quad (21)$$

Естественно, рассматривать это обратное преобразование как ассоциативную память, при этом предположение существования обратного соответствия определяется полной информацией об объекте. Однако, наличие возмущения порождает ошибку в обратном соответствии:



$$\begin{aligned} A^{*-1} : Y_r &\rightarrow \Omega_s; \\ \Omega_s &= \Omega \cup S, \end{aligned} \quad (22)$$

где S – это множество предполагаемых, при обратном соответствии, возмущений.

Тогда предполагая, что множество образов известно и существует обратное соответствие, переводящее множество решений в множество объектов, можно записать:

$$\begin{aligned} A^{*-1} : Y &\rightarrow \Omega, \quad A^{*-1} : Z \rightarrow S; \\ \Omega_s &= \Omega \cup S. \end{aligned} \quad (23)$$

Следовательно, реально множество ошибки воспроизведения образа  $\Omega_s \setminus \Omega = \Delta\Omega$  не пусто. Естественно условие  $\Omega = \Omega_r$  обеспечивает выполнение условия  $\Delta\Omega = \emptyset$ , которое можно трактовать как полное знание системой входной ситуации. Поэтому процедура минимизации мощности множества ошибки позволяет построить алгоритм восстановления истинного множества решений.

Тогда для гипотезы  $Y_r$ , используя обратное преобразование  $A^{*-1}$  определим ошибку решения:

$$\begin{aligned} A^{*-1} : Y_r \setminus \Omega_r &\rightarrow \Delta\Omega = \Omega_s \setminus \Omega_r; \\ (\Omega \cup S) \setminus (\Omega \cup G) &= S \setminus G = \Delta\Omega. \end{aligned} \quad (24)$$

Следовательно, обратное соответствие не может быть просто обратным соответствием распознающей системы. Предположив существование соответствия  $B$ , обеспечивающего правильное распознавание получим:

$$B : Y_r = (A^{*-1} : Y) \cup (C : Z) \rightarrow \Omega \cup G. \quad (25)$$

Следовательно, для независимых соответствий, обладающих свойством:

$$\begin{aligned} A^{*-1} : Y &\rightarrow \Omega, \quad A^{*-1} : Z \rightarrow \emptyset \\ C : Z &\rightarrow G, \quad C : Y \rightarrow \emptyset. \end{aligned}$$

Тогда получаем формирование ошибки:

$$B : Y_r \setminus \Omega_r = ((A^{*-1} : Y) \cup (C : Z)) \setminus \Omega_r \rightarrow (\Omega \cup S) \setminus (\Omega \cup G) = S \setminus G = \Delta\Omega.$$

Представив формирование соответствия  $C$  как последовательную процедуру снижения ошибки:

$$\begin{aligned} (C_1 : Z) \setminus G &\rightarrow \Delta\Omega_1, (C_2 : Z) \setminus G \rightarrow \Delta\Omega_2, \dots, (C_n : Z) \setminus G \rightarrow \Delta\Omega_n; \\ |\Delta\Omega_1| &> |\Delta\Omega_2| > \dots > |\Delta\Omega_n| = 0. \end{aligned} \quad (26)$$

Таким образом, получаем простое условие инвариантности системы к нестационарным возмущениям – система должна иметь контур обратной связи, компенсирующий входную информацию и для полной инвариантности относительно возмущений, необходимо и достаточно, что бы контур обратной связи мог воспроизвести по гипотезе любую входную ситуацию. Структура системы, инвариантной по отношению к возмущению, приведена на рис. 3.

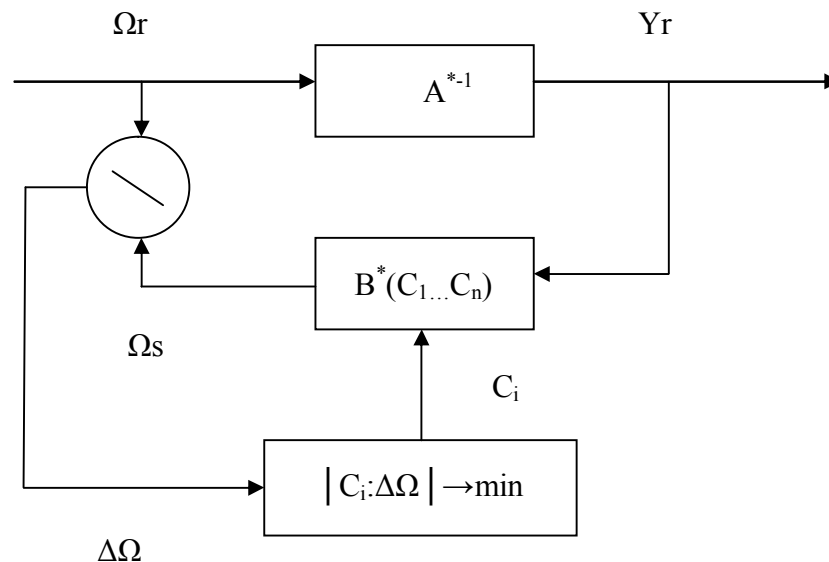


Рисунок 3 – Структура системи розпізнавання, допускаючої інваріантність

**Висновки.** Таким образом, рассмотрены вопросы систематизации методов построения систем распознавания образов. Приведена классификация методов распознавания. Выполнен анализ условий инвариантности систем распознавания по отношению к возмущениям объекта и внешней среды. Получено простое условие инвариантности системы к нестационарным возмущениям – система должна иметь контур обратной связи, компенсирующий входную информацию и для полной инвариантности относительно возмущений, необходимо и достаточно, чтобы контур обратной связи мог воспроизвести по гипотезе любую входную ситуацию.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов А. Е. Формализация составляющих процесса обучения / А. Е. Соколов, Е. О. Махова // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2009. – № 1 (34). – С. 508-512.
2. Соколов А. Е. Комбінована модель управління процесом комп'ютеризованого навчання / А.Е. Соколов // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2010. – № 1 (52). – С. 157-160.
3. Энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_mathematics/4665/](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_mathematics/4665/).
4. Горелик А. Л. Методы распознавания / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин. – М. : Высшая школа, 1984, 2004. – 262 с.
5. Симанков В. С. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов / В. С. Симанков, Е. В. Луценко. – Краснодар : Кубан. гос. технолог. ун-та, 1999. – 318 с.





**Соколова О.В. УМОВА ІНВАРІАНТНОСТІ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ДО НЕСТАЦІОНАРНИХ ЗБУРЕНЬ**

У статті розглянуті питання систематизації методів побудови систем розпізнавання образів. Приведено класифікацію методів розпізнавання. Виконано аналіз умов інваріантності систем розпізнавання по відношенню до збурень об'єкту і зовнішнього середовища. Отримано умову інваріантності системи до нестационарних збурень: система повинна мати контур зворотного зв'язку, який відтворює за гіпотезою вхідну інформацію.

Ключові слова: інваріантність системи розпізнавання, аналіз системи.

**Sokolova O.V. CONDITION OF INVARIANCE RECOGNITION SYSTEM TO NON-STATIONARY PERTURBATIONS**

The article discusses the systematization of methods for constructing recognition systems. A classification of methods of recognition. The analysis of the conditions of invariance recognition systems with respect to perturbations of the object and the environment. A condition of invariance of the system to non-stationary perturbations: the system must have a feedback loop that plays on the hypothesis of input information.

Keywords: invariance recognition, analysis of the system.

Статтю прийнято  
до редакції 30.04.14.