

Н.О. Ризун, Ю.К. Тараненко

ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕСТИРУЕМОГО С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Анотація. Виконано моделювання об'єкта дослідження – індивідуальної інтелектуальної діяльності досліджуваного по розпізнаванню інформаційних моделей (тестових завдань) в процесі діагностики його професійної підготовленості, розглянутої як динамічна система. Математична модель, що отримано, дозволяє визначити форму імпульсної перехідної та перехідною функцій для груп досліджуваних, ідентифікованих у відповідності з обґрунтованими нормованими ділянками значень коефіцієнта кореляції між рядами фактичного і еталонного часу розпізнавання інформаційної моделі по індивідуальних характеристиках режимів функціонування. Формалізовано якісні динамічні характеристики груп досліджуваних з стійким рівноважним і періодичним станами індивідуальної інтелектуальної діяльності.

Введение. Современные потребности экономики и бизнеса в трудовых ресурсах требуют сертификации специалистов как неотъемлемой процедуры, подтверждающей качество их профессиональной подготовленности и профессиональной пригодности. С интенсивным развитием информационных технологий прогрессивным инструментом диагностики компетентности специалиста и его соответствия определенному виду профессиональной деятельности является компьютерное тестирование. Данное инструментальное средство, позволяющее рассматривать тестируемого как оператора системы управления, открывает уникальные перспективы для поиска и реализации новых методологий оценки и технологий идентификации тестируемых, обладающих близкими индивидуальными характеристиками интеллектуальной деятельности.

Постановка проблемы. Роль тестируемого как оператора системы компьютерной диагностики профессиональной подготовленности состоит в обработке поступившей на вход информации, представлен-

ной в виде тестового задания (ТЗ), и принятии соответствующего решения. Термин "обработка" [1] означает индивидуальную интеллектуальную деятельность (ИИД) конкретного тестируемого на его рабочем месте по решению поставленной перед ним задачи.

Процесс решения поставленной перед тестируемым задачи имеет следующие особенности:

Каждое *тестовое задание*, предназначенное для обработки, может быть интерпретировано как *информационная модель* (ИМ) реальных объектов, понятий, ситуаций, а также отношений между отдельными объектами, понятиями, ситуациями. Формализацию ИМ условно можно представить как организованную в соответствии с некоторыми принципами структуру символических отображений (формул, формулировок, графических изображений). Причем, один и тот же объект, понятие, ситуация может быть формализована различными способами и на различных уровнях обобщения моделируемой ситуации и сложности постановки проблемы с помощью различных форм ТЗ.

Процесс *обработки* можно интерпретировать как ИИД по формированию индивидуальной информационной модели – результата *распознавания* (англ. recognition – установление принадлежности данного элемента к определенному множеству по известному алгоритму) реальных объектов, понятий, ситуаций, представленных в поданой на вход исходной ИМ.

Фактическим *количественным* идентификатором деятельности конкретного тестируемого является результат процесс обработки, интерпретировать который можно как степень соответствия полученной на выходе индивидуальной ИМ как результата обработки информационной модели, поданной на вход системы.

Систему компьютерной диагностики профессиональной подготовленности и самого тестируемого можно рассматривать как динамическую систему [2], моделирование которой является *актуальной научной проблемой*, позволяющей получить и интерпретировать параметры, *качественно* описывающие фактический характер ИИД конкретного тестируемого и степень ее соответствия диагностируемому уровню профессиональной обученности и компетентности.

Анализ последних публикаций и нерешенные части общей проблемы. Вопросами математического моделирования деятельности

человека-оператора и его взаимодействия с управляемой системой занимались в разное время различные школы ученых. Так, в работах [3, 4] исследовалась динамика поведения человека как подсистемы автоматизированной системы управления технологическим процессом, основными характеристиками которой являются такие количественные параметры, как: среднее время безошибочной работы, частота отказов, среднее время восстановления, коэффициент готовности, вероятность своевременного выполнения задания, а также инерционность нейромускульного механизма.

В [5] результаты моделирования процесса взаимодействия человека-оператора с управляемой системой позволили получить рекомендации по методике организации психологических и эргономических экспериментов. В работах [6, 7] получены модели и алгоритмы идентификации поведения тестируемого как классического и адаптивного ПИД-регуляторов с самонастройкой на изменяющиеся параметры системы автоматизированной диагностики уровня профессиональной подготовленности. Исследования [8, 9] направлены на получение моделей операторской деятельности, позволяющих с точки зрения статических показателей – параметров и характеристик закона распределения – идентифицировать операторский персонал путем определения формы и параметров уравнения тренда, количественно описывающего функциональные состояния, определяемые центральной нервной системой, а также оценить эффективность ИИД по результатам исследования эмпирической функции распределения.

Перечисленные выше направления исследований имеют следующие нерешенные части проблемы:

- результаты анализа, идентификации поведения и воспроизведения действий человека-оператора – с использованием как статических методов анализа, так и инструментов теории автоматического управления и регулирования – не являются универсальными, поскольку, с одной стороны, рассматривают алгоритмы управления в конкретной проблемной области, а с другой – сводятся к получению основных *количественных* идентификаторов эффективности операторской деятельности;

- в теории автоматизированной диагностики уровня профессиональной подготовленности с использованием тестового контроля отсутствуют модели и алгоритмы *качественной* идентификации тес-

тируемого, идентифицирующих характер индивидуальной интеллектуальной деятельности с помощью показателей его функционирования как динамической системы.

По определению В.Д. Моисеева (1965), всякая сложная динамическая система (ДС) характеризуется способностью изменять свое общее состояние и тем самым обеспечивается выполнение свойственной ей функции. Он сформулировал основной закон саморегулирующейся системы, в соответствии с которым каждая система: "...способна одинаково активно реагировать на внешние воздействия, т. е. одинаково с количественной стороны принимать, накапливать и перерабатывать поступающую к ней информацию и путем автоматического целенаправленного изменения состояния соответствующим образом организованных составных элементов обеспечивать свое существование или выполнение свойственных ей функций". По А. Я. Лернеру (1967), ДС характеризуется переходом из одного состояния в другое, причем этот переход совершается не мгновенно, а через переходные состояния, поэтому основными режимами динамической системы являются: равновесный, переходный и периодический.

Равновесный режим ДС соответствует ситуации, характеризующейся постоянством во времени некоторой последовательности состояний, пробегаемых системой в процессе ее движения. Применительно к ИИД в процессе диагностики профессиональной подготовленности это соответствует состоянию достаточного уровня обученности тестируемого (далее – исследуемого), устойчиво сформировавшейся компетентности и соответствию определенному (диагностируемому) виду профессиональной деятельности.

Периодический режим ДС характеризуется тем, что колебания входной информации системы (переходные состояния, характеризующиеся изменением степени сложности ИМ, подаваемых для распознавания), вызывают колебания энтропии деятельности исследуемого, проявляющиеся в виде сдвигов фаз и амплитуды. Применительно к ИИД исследуемого этот режим идентифицирует состояние неустойчивого уровня обученности определенному (диагностируемому) виду профессиональной деятельности.

Целью работы является построение математической модели объекта исследования – *индивидуальной интеллектуальной деятельности исследуемого* по распознаванию информационных моделей

в процессе диагностики его профессиональной подготовленности, – которая позволит по результатам наблюдений за ее входными и выходными переменными получить динамические характеристики идентификации таких объектов.

Результаты исследований. Исходя из поставленной цели, входными переменными ДС являются информационные модели *MOD* заданного целевого уровня диагностики *U*, представленные в виде ТЗ определенной формы *TEST_e* и подаваемые на экран монитора в моменты времени *t_i*.

Выходными переменными являются фактические продолжительности времени *t^f* с момента очистки кэша видеопамати при полной загрузке изображения текущей ИМ *t^o* на экран и до момента принятия исследуемым решения – времени нажатия кнопки завершения работы по распознаванию *i*-го ТЗ *t^z*, основными предпосылками анализа которых являются следующие утверждения:

Эталоном профессионального уровня устойчиво сформировавшейся компетентности исследуемого является среднее время ИИД, потраченное на распознавание ИМ заданного целевого уровня диагностики *U* группой преподавателей-экспертов *t^{*}* [10].

Величина $t^* = t^{v*} + t^{k*} + t^{e*} + t^{p*}$ является объективным инструментом количественной идентификации входной переменной ДС – профессионального уровня *U_i* подаваемой для распознавания ИМ *MOD*, а именно: уровня сложности ее формулировки и визуального представления *t^{v*}*; уровня содержательной сложности ИМ – времени настраивания исследуемого на предметную область *t^{k*}* и экстраполяционного поиска результата распознавания *t^{e*}*; уровня сложности требуемой технологии ввода решения *t^{p*}*.

Коэффициент корреляции $K(t^*, t^f)$ между рядами количественных параметров входных *t^{*}* и выходных переменных $t^f = t^z - t^o$ является инструментом идентификации групп исследуемых, обладающих близкими индивидуальными характеристиками режимов функционирования в процессе распознавания последовательности ИМ *MOD* в течение тестового сеанса.

В этой связи автором были обоснована [10] следующая интерпретация нормированных участков значений коэффициента корреляции $K(t^*, t^f)$:

устойчивый равновесный режим ИИД, количественно идентифицируемый значением коэффициента корреляции $K(t^*, t^f) \geq 0,5$, соответствующим высокой степени согласованности индивидуального уровня интеллектуальной деятельности исследуемого с эталоном. При этом, тонкость используемого инструмента позволяет учитывать и распознавать такие индивидуальные характеристики ИИД тестируемых, как "тугодумие" или "мгновенная реакция", стабильность проявления которых не противоречит идентификации признаков устойчивого равновесного режима ДС. Идентифицируемая группа тестируемых качественно характеризуется сформировавшейся компетентностью и достаточном уровне обученности и его соответствия заданному профессиональному уровню ИИД;

периодическое режим ИИД исследуемого, количественно идентифицируемый значением коэффициента корреляции $K(t^*, t^f) < 0,5$, обусловленным энтропией деятельности исследуемого, проявляющейся в наличии случайных "выбросов" в значениях фактического времени t^f распознавания информационных моделей относительно t^* . Идентифицируемая группа тестируемых качественно характеризуется уровнем профессиональной компетентности, не соответствующим заданному эталону профессионального уровня ИИД.

Экспериментальные исследования ИИД исследуемого по распознаванию ИМ с целью получения его динамических характеристик проводились на основании статистических данных об успешных результатах тестирования 2-х студенческих групп (50 человек) по предмету "Моделирование системных характеристик". При этом ограничивалось только общее время проведения тестового сеанса. Количество подаваемых ИМ за один тестовый сеанс – 56 ($\overline{t^*} = 2.7$ мин, $\sigma = 0.7$).

Индивидуальные результаты данного эксперимента представляли собой фиксацию событий – времени поиска и принятия решения о распознавании ИМ – в форме последовательности значений времени с "привязкой" к моментам времени проведения эксперимен-

та. При этом моменты появления событий – подача ИМ, продолжительность их зрительного восприятия, формирования внутренней образно-концептуальной модели и экстраполяционного поиска, а также моменты принятия решений о распознавании данных моделей являются случайными величинами и в целом отображают эргодический случайный стационарный процесс, который характеризует качество ИИД исследуемого.

Получение динамических характеристик объекта является продолжением процесса исследования характера корреляционных зависимостей между входом и выходом динамической системы ИИД исследуемых и состоит в том, что, если в нормальных условиях работы воздействие, приложенное к входу исследуемой системы, может рассматриваться как стационарная случайная функция, то применение коррелятора дает возможность определить автокорреляционную функцию $R_Q(\tau)$ входа $Q(\tau) = t^*$ и взаимокорреляционную функцию $R_{Qq}(\tau)$ между входом $Q(\tau)$ и выходом $q(\tau) = t^f$.

Известно, что эти функции связаны выражением:

$$RQ(\tau) = \int_0^{\infty} R_Q(\tau - \lambda) \cdot w(\lambda) d\lambda, \text{ решая которое относительно } w(\lambda), \text{ можем}$$

найти импульсную переходную $w(t)$ и переходную $h(t)$ функции.

Было выполнено *уточнение задачи моделирования объекта исследования*: по результатам экспериментальных исследований эргодического случайного стационарного процесса – распознавания последовательности ИМ заданного целевого уровня диагностики, рассматриваемого как ДС, – определить форму импульсной переходной $w(t)$ и переходной $h(t)$ функций для групп исследуемых, идентифицируемых по индивидуальным характеристикам режимов функционирования с целью формализации качественных динамических характеристик объектов.

Исходные формулы для определения автокорреляционной $R_Q(\tau)$ и взаимокорреляционной $R_{Qq}(\tau)$ функций по экспериментальным реализациям случайных функций имеют вид:

$$R_Q(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^t Q(t) \cdot Q(t + \tau) dt, \quad (1)$$

$$R_{Qq}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^t Q(t) \cdot q(t + \tau) dt. \quad (2)$$

Оценки математических ожиданий и автокорреляционной и взаимокорреляционной функций определяются по следующим формулам:

$$m_Q^* \approx \frac{\sum_{i=0}^n Q_i}{n+1}; \quad m_{Qq}^* \approx \frac{\sum_{i=0}^n q_i}{n+1}; \quad R_Q^*(p\Delta\tau) \sum_{i=1}^{n-p} (Q_i - m_Q^*)(Q_{i+p} - m_Q^*);$$

$$R_{Qq}^*(p\Delta\tau) \sum_{i=1}^{n-p} (Q_i - m_Q^*)(q_{i+p} - m_q^*); \quad \text{где } Q_i = Q[i], q_i = q[i] - \text{значения случайного сигнала в } i\text{-ом сечении, } m_Q^* \text{ и } m_q^* - \text{оценки математических}$$

ожиданий, а R_Q^* и R_{Qq}^* – оценки корреляционных функций случайных процессов $Q[n]$ и $q[n]$ соответственно, n – дискретное время. В данных исследованиях шаг дискретизации – переменный и представляет собой моменты фактического времени подачи t_j^o на экран ИМ: $n[t_j^{o*}] = t_{j-1}^z + t_j^*$, $n[t_j^o] = t_{j-1}^z + t_j^f$.

Решение интегрального уравнения Винера-Хопфа аналитическими методами требует представления функций R_Q^* и R_{Qq}^* в виде аналитических выражений. Так как в расчетах значения оценок корреляционных функций заданы в виде последовательности ординат, следующих друг за другом через дискретные отрезки времени $\Delta\tau$, то решение интегрального уравнения удобно свести к решению системы алгебраических уравнений с числом уравнений и неизвестных, равным количеству вычисленных ординат статистических характеристик. Для этого интеграл в уравнении Винера-Хопфа аппроксимируется конечной суммой: $R_{Qq}^*(p\Delta\tau) = \sum_{n=0}^N w(p\Delta\tau) \cdot R_Q^*(p\Delta\tau - n\Delta\tau)\Delta\tau$. Разделив

данное выражение на $\Delta\tau$, получим: $q_n = \sum_{n=0}^N w_n(p\Delta\tau) \cdot R_{Qn}$, где

$$q_n = \frac{R_{Qn}(i\Delta\tau)}{\Delta\tau}, w_n = w(n\Delta\tau) \text{ и } R_{Qn} = R_Q^*(p\Delta\tau - n\Delta\tau).$$

Полученные выражения можно представить в виде системы n линейных уравнений с n неизвестными:

[illegible]

Решение системы (3) было получено путем представления его в матричной форме: $W = A^{-1}Q$.

В результате были получены графики временных характеристик – импульсной переходной $w_Q(t)$ и переходной $h_Q(t) = \int_0^{\infty} w_Q(t) dt$ функций для групп тестируемых, идентифицируемых в соответствии обоснованными нормированными участками значений коэффициента корреляции, как группы с *устойчивым равновесным* и *периодическим* режимами ИИД (рис. 1).

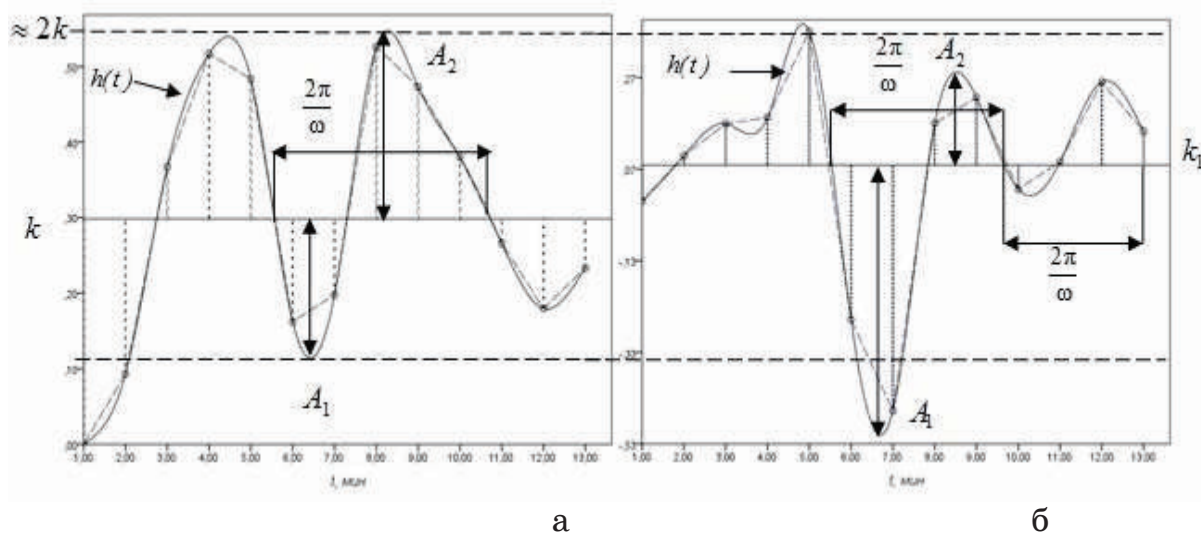


Рисунок 1 - Форма переходной функции $h(t)$ для группы тестируемых: а – с устойчивым равновесным состоянием ИИД; б – с периодическим состоянием ИИД

Форма графиков временных характеристик позволяет сделать следующие выводы:

ИИД исследуемого по распознаванию ИМ в процессе диагностики его профессиональной подготовленности представляет собой элементарное колебательное звено (динамическое звено второго порядка), переходная характеристика которого в общем виде может

быть описана передаточной функцией вида $W(s) = \frac{k}{T^2 s^2 + 2T\xi s + 1}$.

Параметры данной передаточной функции могут быть интерпретированы следующим образом:

ξ – величина, обратная уровню профессиональной уверенности ν ($\nu = 1 - \xi$) – степени освоенности проблемной области информационной модели, способствующей формированию образно-концептуальной модели, достаточной для распознавания ИМ заданного целевого уровня (*коэффициент затухания*);

T – величина, обратная скорости протекания ИИД по распознаванию ИМ – зрительного восприятия, опознавательной деятельности, продуктивного мышления и механизмов принятия решений (*постоянная времени*);

k – величина, эквивалентная установившемуся значению переходной функции и характеризующая степень соответствия реально-го уровня ИИД исследуемого заданному целевому уровню профессиональной подготовленности (*статический коэффициент передачи*).

Свойством передаточной функции для группы тестируемых, *идентифицируемой* в соответствии обоснованными нормированными участками значений коэффициента корреляции $K(t^*, t^f)$ как группа, характеризующаяся *устойчивым равновесным режимом* ИИД, является приближение характеристик колебательного звена к консервативному ($\xi \rightarrow 0, \nu \rightarrow 1$). Это обусловлено теми фактами, что временные характеристики колебательного звена, согласно полученным графикам (рис. 1, а) имеют вид незатухающих колебаний, в связи с чем его передаточная функция преобразуется в $W(s) = \frac{k}{T^2 s^2 + 1}$. При этом:

Период колебаний $2\pi/\omega$ позволяет интерпретировать динамические характеристики ИИД исследуемого следующим образом:

– площадь отрицательной полуволны S_{1j} (высотой A_1) можно рассматривать как идентификатор количества "проработанных" в процессе ИИД совокупности понятий, установленных связей и отношений между данными понятиями для создания целостного индивидуального образа j -й распознаваемой ИМ;

– площадь положительной полуволны S_{2j} (высотой A_2) может рассматриваться как идентификатор количества сгенерированных и проанализированных на основе сформированного индивидуального

образа путем компарации идеи/вариантов решений по распознаванию j -й ИМ, а также выполненных команд по реализации данного решения.

Угловая частота колебаний $\omega = \frac{2 \cdot \pi \sqrt{1 - \xi^2}}{T} = \omega_0 \cdot \sqrt{1 - \xi^2}$ зависит

от степени приближения коэффициента затухания к нулю и также характеризует уровень охвата ("широту охвата") ИИД, увеличивающийся при приближении показателя $\nu = 1 - \xi$ к единице.

Стабильные характеристики ИИД ($S_{1j} \approx S_{1i}, S_{2j} \approx S_{2i}$) свидетельствует об устойчивом равновесии (незатухании) ИИД в течение всего тестового сеанса.

Коэффициент усиления k определяет степень соответствия реального уровня компетентности и обученности исследуемого заданному целевому уровню ИИД.

Свойством передаточной функции для группы тестируемых, характеризующейся *периодическим режимом* ИИД является колебательный характер его временных характеристик $0 < \xi < 1$ (рис. 1, б). При этом:

Показатель затухания $\lambda = \frac{\xi}{T}$ – временная характеристика, обратная степени профессиональной уверенности $\nu = 1 - \xi$, увеличение которой вызывает колебания энтропии деятельности тестируемого и проявляется в виде сдвигов фаз и амплитуды. Площади отрицательной и положительной полуволн $S_{1j} \neq S_{1i}, S_{1j} \neq S_{2j}$ в данном случае существенно отличаются друг от друга как в пределах процесса распознавания одной, так и различных ИМ, что можно интерпретировать как нестабильность ИИД и попытки угадать правильное решение.

Коэффициент усиления k_1 значительно ниже уровня ИИД группы тестируемых, характеризующемуся устойчивым равновесным режимом ИИД $k_1 < k$.

Выводы. Получен инструмент проведения исследований и выполнения идентификации индивидуальной интеллектуальной деятельности, соответствующей определенному виду профессиональной активности, реализованный посредством формализованных авторами механизма определения, а также методики интерпретации форм ди-

намических характеристик исследуемых объектов, *качественно* описывающих характер индивидуальной интеллектуальной деятельности конкретного тестируемого и степень ее соответствия диагностируемому уровню профессиональной обученности и компетентности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Психологічний словник. – К.: Вища шк., 1982. – 216 с.
2. Дьячук П.П. Диагностика недостаточной обучаемости математике методом фазовых портретов / П. П. Дьячук, Л. В. Пустовалов, С. А. Михайличенко // Ползуновский альманах. – 2010. – № 2. – С. 168-171.
3. Павловская О.О. Методы определения параметров линейной математической модели человека-оператора / О.О.Павловская // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2007. – №7(79). – Вып.5. – С.41-44.
4. Жабреев В.С. Модели и оценка человеческого фактора больших систем: учебное пособие / В.С. Жабреев, О.О. Павловская, К.В.Федяев. – Челябинск: Челяб. ин-т путей сообщения, 2007. – 219 с.
5. Завалишина Д.Н. Психологический анализ оперативного мышления: Экспериментально-теоретическое исследование. – М.: Наука, 1985. – 222 с.
6. Ризун Н.О. Вопросы идентификации тестируемого как ПИД-регулятора в составе автоматизированной системы профессиональной аттестации / Н.О. Ризун // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – 2012. – № 3 (41). – с. 133-141.
7. Ризун Н.О. Алгоритмы идентификации адаптивных ПИД-регуляторов автоматизированной системы профессиональной аттестации / Н.О. Ризун // Научно-технический журнал «Научный вестник НГУ». – 2012. – № 5. – с.113-121.
8. Камінський Р.М. Ідентифікація інтелектуальної діяльності операторського персоналу за експериментальними даними / Р.М. Камінський, Л.Я. Нич // Вісн. Нац. ун-ту «Львів. політехніка» . Інформ. системи та мережі. – 2011. – № 715. –С. 134-149.
9. Нич Л.Я. Оцінювання ефективності індивідуальної інтелектуальної діяльності операторів у системах опрацювання зображень на основі експериментальних даних / Л.Я. Нич, Р.М. Камінський // Вісн. Нац. ун-ту «Львів. політехніка». Інформ. системи та мережі. — 2011. — № 699. — С. 193-203.
10. Холод Б.І., Тараненко Ю.К., Ризун Н.О. Спосіб виміру рівня знань учнів при комп'ютерному тестуванні. [Текст]: патент на винахід 97149 Україна: G06F 7/04 (2006.01); Винахідники: Холод Б.І., Тараненко Ю.К., Ризун Н.О. Замовник та патентовласник: ЗАТ «Дніпропетровський університет економіки та права» . – № а 2009 12950, заявл. 14.12.2009, опубл. 10.01.2012, , бюл. № 1/2012р. – 11 с.