

УДК 681.5:378.1

Н.О. Ризун, канд. техн. наук, доц.

Днепропетровский университет имени Альфреда Нобеля,
г. Днепропетровск, Украина, e-mail: n_fedo@mail.ru

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ АДАПТИВНЫХ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ АТТЕСТАЦИИ

N.O. Rizun, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor

Alfred Nobel Dnipropetrovsk University, Dnipropetrovsk,
Ukraine, e-mail: n_fedo@mail.ru

IDENTIFICATION MODELS AND ALGORITHMS FOR ADAPTIVE PID-REGULATORS OF AUTOMATED SYSTEM OF PROFESSIONAL CERTIFICATION

Цель. Формализация математических моделей и алгоритмов идентификации тестируемого лица как адаптивного ПИД-регулятора в составе автоматизированной системы профессиональной аттестации.

Методика. Методика исследований базируется на теории автоматического управления и теории педагогического тестирования.

Результаты. Результатами исследований является: идентификация тестируемого лица как звена в контуре управления процессом тестовой профессиональной аттестации с обратной связью, используемого для поддержания заданного значения измеряемого уровня знаний и адаптации к изменяющимся во времени параметрам системы, используя при этом соответствующие алгоритмы принятия решений; формализация математических моделей системы управления сеансом автоматизированной профессиональной аттестации в режиме обучения тестируемого лица и в режиме экономии энергии в управляемой системе.

Научная новизна. Научная новизна состоит в постановке и решении проблемы моделирования динамики процессов самонастройки тестируемого лица в ходе тестового сеанса путем идентификации и математической формализации алгоритма последовательности подачи тестовых заданий в порядке уменьшения проверяемого уровня профессиональной подготовленности, а также критериев оптимизации следующих показателей: качества (результативности) процесса обучения (обучаемости) тестируемого лица; степени самореализации (самовыражения) тестируемого при идентификации реального уровня профессиональных навыков и способностей тестируемого; экономии энергии в управляемой системе (минимизации фактического времени прохождения тестового сеанса).

Практическая значимость. Практическая значимость работы состоит в разработке алгоритмов: настройки параметров ПИД-регулятора (тестируемого лица) в режиме обучения с минимальной степенью отклонения от заданной траектории обучения; настройки параметров ПИД-регулятора (тестируемого лица) в режиме максимальной самореализации с максимальной экономией времени, фактически потраченного на тестовый сеанс.

Ключевые слова: адаптация, ПИД-регулятор, автоматизированная система, профессиональная аттестация, тестовый сеанс

Введение. Известно, что в настоящее время одним из основных направлений совершенствования систем автоматического управления по-прежнему остаётся повышение точности управления и стабилизации параметров работы объекта в заданных пределах. При этом главной проблемой проектирования таких систем является необходимость обеспечения функции периодической, так называемой перенастройки параметров регуляторов в процессе эксплуатации, которая является следствием изменяемости (дрейфа) параметров объекта управления во времени, случайного характера возмущающих и управляющих воздействий, а также различными режимами работы объектов. Несвоевременная же настройка регуляторов в соответствии с эксплуатационной ситуацией на объекте управления приводит к экономическим потерям в промышленности и энергетике. В этой связи возникает задача построения алго-

ритмов настройки регуляторов и исследования эффективности их использования при изменяющихся характеристиках объектов управления, случайных задающих и возмущающих воздействий.

Постановка проблемы. Естественным направлением современного развития ПИД-регуляторов является разработка методов автоматической настройки, называемой адаптацией. Адаптация обычно является медленным процессом, поэтому её нельзя рассматривать как непрерывное слежение параметров регулятора за изменяющимися параметрами объекта. Согласно определению, система называется адаптивной, если текущая в ней информация, помимо выработки управляющего воздействия, используется также для изменения алгоритма управления. Алгоритм работы множества известных ПИД-регуляторов с автоматической адаптацией состоит из следующих этапов: идентификация параметров объекта регулирования; вычисление (уточне-

ние) коэффициентов ПИД-регулятора; ввод (уточнение) коэффициентов в ПИД-регулятор.

Автоматизированные системы контроля профессиональной подготовки тестового контроля также представляют собой разновидность систем управления, главным действующим лицом которого является человек, от совокупности навыков, знаний, умений и психофизических свойств которого зависит конечный результат работы системы. Тогда логичным является и тот факт, что человек, в связи с постоянно изменяющимися во времени параметрами системы тестирования (изменение типа тестовых заданий, уровня сложности тестовых заданий, темы тестирования и т.д.), вынужден адаптироваться к новой ситуации, используя при этом соответствующие алгоритмы принятия решений.

Однако, в теории автоматического управления технологическими процессами регуляторы, использующие автоматическую настройку, чаще имеют менее качественные показатели качества настройки, чем регуляторы с ручной настройкой. Это объясняется философским умозаключением о том, что компьютер не может выполнять сложные и плохо формализуемые задачи лучше человека. Тем не менее, проведение исследований, позволяющих формализовать динамику и алгоритмы поведения человека как адаптивного ПИД-регулятора, является актуальной научной задачей, открывающей возможности для:

- более глубокого понимания психофизических и алгоритмических механизмов мыслительной деятельности человека, используемых для эффективного принятия решения в различных ситуациях;

- дальнейшей теоретической интерпретации и практической реализации полученных результатов исследований в целях совершенствования методики проектирования современных систем автоматического управления, в том числе и в области автоматизированной диагностики профессиональной подготовленности.

Анализ последних публикаций. Алгоритмы самонастраивающихся и адаптивных ПИД-регуляторов базируются на идентификации объекта управления. Часто используются различные вариации метода наименьших квадратов, работающие с тем предположением, что внешнее возмущение является случайным процессом типа „белый шум“. За последнее десятилетие методы адаптации активно развивались. Предлагаются алгоритмы конечно-частотной идентификации [1]. В [2] алгоритм адаптивного управления базируется на методе конечно-частотной идентификации и синтезе регулятора.

Одной из разновидностей адаптивных систем регулирования являются системы со стабилизацией частотных характеристик. Наиболее распространенными методами целенаправленного изменения частотных характеристик регулирующего устройства являются методы, основанные на изменении параметров ПИД-регуляторов [3]. Другим решением данной проблемы является использование последовательного адаптивного псевдолинейного двухканального корректирующего устройства динамических характеристик [4].

Другим современным направлением развития промышленных регуляторов является нечеткий ПИД-регулятор [5]. Однако на сегодняшний день установлено, что нечеткий ПИД-регулятор не обеспечивает улучшение качества систем автоматического регулирования (САР) в сравнении с традиционным ПИД-регулятором [6]. В этой связи в последнее время предлагаются адаптивные системы регулирования с подстройкой коэффициентов ПИД-регулятора с использованием нейронных сетей и генетических алгоритмов [7].

Нерешенные части общей проблемы. Несмотря на широкий спектр научных достижений в области разработки адаптивных систем регулирования, все они имеют ряд особенностей:

- алгоритмы автонастройки и оптимизации параметров ПИД-регуляторов направлены только на применение в области управления технологическими процессами;

- результаты анализа, идентификации поведения и воспроизведения действий человека-оператора не являются универсальными, так как рассматривают алгоритмы управления в конкретной проблемной области;

- в теории тестирования отсутствуют модели и алгоритмы идентификации поведения тестируемого как адаптивного ПИД-регулятора с самонастройкой на изменяющиеся параметры системы автоматизированной диагностики уровня профессиональной подготовки.

Целью статьи является формализация математических моделей и алгоритмов идентификации тестируемого как адаптивного ПИД-регулятора в составе автоматизированной системы профессиональной аттестации с использованием аналогий теории автоматического управления и теории тестирования.

Результаты исследований. При идентификации тестируемого как классического ПИД-регулятора его можно рассматривать как звено в контуре управления процессом тестовой профессиональной аттестации с обратной связью, используемое для поддержания заданного значения измеряемого параметра (заданного уровня (меры) знаний). Согласно теории автоматического, ПИД-регулятор измеряет отклонение стабилизируемой величины от заданного значения (так называемой уставки) и генерирует управляющий сигнал, являющийся суммой трёх слагаемых, первое из которых пропорционально этому отклонению, второе пропорционально интегралу отклонения и третье пропорционально производной отклонения

$$u(t) = K_p \cdot \varepsilon + \frac{1}{T_I} \cdot \int_0^t \varepsilon dt + T_d \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (1)$$

где параметры K_p, T_I, T_d настраиваются перед началом эксплуатации системы в соответствии с требуемыми показателями её качества и конкретными характеристиками объекта управления.

Согласно аналогиям, проводимым автором, между ПИД-регулятором и тестируемым, в приведенной формуле (1):

ε – степень отклонения от заданного (оптимального) уровня (меры) знаний;

K_p – уровень личностных качеств, необходимых для достижения заданной меры профессиональной подготовленности (коэффициент усиления). Комплексный показатель, представляющий собой совокупность психофизических и профессиональных навыков, например, умение владеть ситуацией, настойчивость, уверенность, выдержка, выносливость, интуиция и т.д.;

T_I – уровень устойчивости знаний (коэффициент пропорциональности интегральной составляющей). Представляет собой уровень освоенности проблемной ситуации (степень трансформации информации о предметной области в знания), достаточной для формирования образно-концептуальной модели проблемной ситуации у тестируемого и адекватного принятия решений;

T_d – уровень качества мыслительной деятельности (коэффициент пропорциональности дифференциальной составляющей). Представляет собой совокупный качественный показатель (скорость, эффективность, точность) различных видов мыслительной деятельности – перцептивного восприятия, опознавательной деятельности, продуктивного мышления и механизмов принятия решений;

$u(t)$ – результат решения тестового аттестационного задания определенной меры (уровня) знаний, уровень замера знаний (регулирующее воздействие, формируемое ПИД-регулятором).

Тогда блок-схема автоматизированной системы профессиональной аттестации (АСПА) с классическим ПИД-регулятором может иметь следующую структуру:

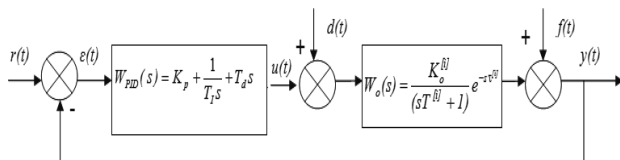


Рис. 1. Пример блок-схемы автоматизированной системы профессиональной аттестации с тестируемым в качестве классического ПИД-регулятора

При этом ПИД-регулятор обладает вектором настраиваемых параметров и образует с объектом $W_o(s)$ типовую замкнутую систему управления с единичной обратной связью. В ней:

$r(t)$ – уровень меры знаний (профессиональной подготовленности) в поданном на вход тестовом задании (заданиях) (задающее воздействие (уставка)). Задается следующими уровнями – уровень текущего контроля, модульного контроля, экзаменационного (итогового) контроля;

$y(t)$ – фактическое значение количества (меры) знаний тестируемого (измеряемый выход объекта

управления). Может состоять в количестве правильных ответов (количество знаний) и количестве баллов за набранное количество правильных ответов (мере знаний);

$d(t)$ – сбой в работе системы тестовой аттестации (внешнее возмущение). Внешние воздействия, связанные со случайными инструментальными (задержкой времени подачи задания на экран, повторным выбором одного и того же вопроса из базы данных) или психологическими погрешностями (усталость, плохое самочувствие или настроение, погодные условия, время суток, отвлекающие воздействия в аудитории);

$f(t)$ – погрешности измерений (шум измерений).

Энтропия в измерительных каналах системы обмена данными в информационной сети тестового контроля, связанная с методическими, субъективными погрешностями, а также погрешностями условий измерения;

$W_o(s)$ – передаточная функция объекта управления (модель первого порядка с транспортной задержкой) – автоматизированной системы профессиональной аттестации. В качестве выходного информационного сигнала формирует сигнал фактического уровня меры знаний и генерирует новое тестовое задание;

$\varepsilon(t) = r(t) - y(t)$; $i=1, N$ – номер режима работы системы тестирования.

При этом коэффициенты объекта (АСПА) изменяются в моменты времени t_1, t_2, \dots, t_N , и постоянны внутри интервалов времени

$$t_{i-1} \leq t < t_i.$$

Однако, как было сказано выше, распространенной формой ПИД-регуляторов являются адаптивные регуляторы, которые используют текущую информацию для изменения алгоритма управления системой.

В этой связи, во-первых, с целью повышения точности аналогий ПИД-регулятора и человека, предлагается вычислять степень отклонения от заданного (оптимального) уровня (меры) знаний ε отдельно для пропорциональной, дифференциальной и интегральной составляющих

$$\varepsilon_p = ar - y; \quad \varepsilon_d = br - y; \quad \varepsilon_i = cr - y,$$

где $\varepsilon_p, \varepsilon_d, \varepsilon_i$ – ошибки для пропорциональной, дифференциальной и интегральной составляющих соответственно; a, b, c – настроечные весовые коэффициенты, определяющие степень важности таких аспектов профессиональной подготовленности, тестируемых (развиваемых) в данном тестовом сеансе, как: скорость мышления, углубление знаний в конкретной предметной области, совершенствование личностных характеристик тестируемого (обучаемого) специалиста.

Уравнение такого ПИД-регулятора аналогично (1)

$$u(t) = K_p \varepsilon(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t \varepsilon_1(t) dt + T_d \frac{d\varepsilon_d(t)}{dt}.$$

Тогда, базируясь на приведенных выше аналогиях и посылках, постановки задачи идентификации тестируемого как **адаптивного ПИД-регулятора** в аналогиях теории автоматического управления и теории тестирования могут быть сформулированы следующим образом.

ЗАДАЧА 1. Модель системы управления сеансом автоматизированной профессиональной аттестации в режиме обучения тестируемого.

Предполагается, что в режиме обучения известна (задана) желаемая (идеальная) траектория движения системы $y_m(t)$ при известном входном воздействии $r(t)$. Такое движение может состоять в определении вектора накопления тестируемым профессиональных знаний, навыков и умений в процессе прохождения тестового сеанса и может быть задано с помощью эталонной модели системы

$$W_m(s) = \frac{y_m(s)}{r(s)},$$

либо в виде коэффициентов соответствующего дифференциального уравнения, решение которого описывает желаемое движение.

Наличие эталонной модели позволяет получать текущую *невязку* (степень отклонения от заданной траектории обучения)

$$e^{[ij]} = W_m(s) - \frac{dy^{[ij]}}{dt}$$

и формировать на её основе критерий $\Phi(e^{[ij]}, t)$ качества настройки регулятора – качества (результативности) *процесса обучения* тестируемого (или *обучаемости тестируемого*) – путем изменения значений коэффициентов ПИД-регулятора $k = [K_p, T_I, T_d]$ – уровня устойчивости знаний, логики и эффективности мышления и, даже, совершенствования личностных качеств.

Автором ставится задача идентификации алгоритма Φ настройки (обучения) тестируемого

$$\Phi(r, y, e, t) \tag{2}$$

в виде процедур, обеспечивающих, на основе невязки $e^{[ij]}$ и информации о входных $r(t)$ и выходных $y(t)$ параметров системы, стремление значения выбранного критерия $\Phi(e^{[ij]}, t)$ качества настройки параметров $k = [K_p, T_I, T_d]$ к некоторой, сколь угодно малой допустимой, степени отклонения от заданного (оптимального) уровня (меры) знаний, обеспечивающей положительный („отличный“) результат прохождения тестового сеанса ε_0 (например, $\varepsilon_0 \leq 80\% \cdot r(t)$)

$$\Phi(e^{[ij]}, t) \rightarrow \varepsilon_0. \tag{3}$$

В явном виде алгоритм (2) представляет собой функцию интегрального типа, запоминающую найденные настройки \bar{k} .

Структура автоматической системы управления, соответствующая поставленной задаче идентификации алгоритма Φ настройки адаптивного ПИД-регулятора, представляющей собой изменение параметров тестируемого в результате трансформации справочной (обучающей) информации $h(t)$, предоставляемой АСПА о рассматриваемой предметной области, в профессиональные знания тестируемого, может быть аналогичной [8] и представлена на рис. 2.

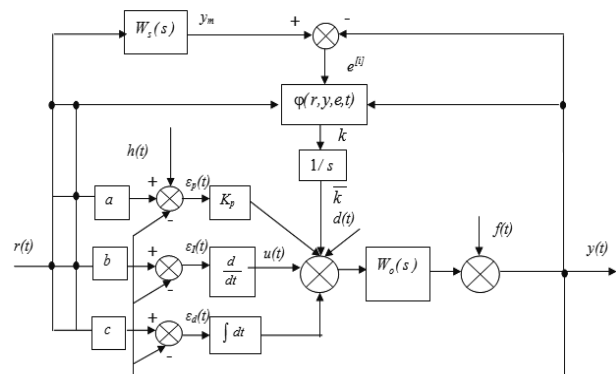


Рис. 2. Пример структуры АСПА в режиме обучения тестируемого с адаптивным ПИД-регулятором

Алгоритмическая интерпретация данной структурной схемы может быть следующая:

1. Тестируемый (ПИД-регулятор) получает на вход информацию о заданном уровне профессиональной подготовленности, контролируемой в процессе обучения в данном тестовом сеансе $r(t)$ с установленными экспертным путем настроечными весовыми коэффициентами a, b, c .

2. В процессе тестирования кроме тестовых заданий поступает обучающая информация $h(t)$ различного уровня – в виде кратких подсказок; расширенной справочной информации по j -му заданию; информации о возможном количестве правильных ответов; о том, правильный дан ответ или нет; если это предусмотрено режимом обучения, отображения правильного ответа.

3. Алгоритм адаптации $\Phi(r, y, e, t)$ первоначально заданных параметров $k = [K_p, T_I, T_d]$ – начального уровня профессиональной подготовленности тестируемого до текущего сеанса – производится на основании анализа значения текущей невязки $e^{[ij]}$ (степени *прогресса* в обучении в течение определенного периода (блока) тестового сеанса) с заданной желаемой (идеальной) траекторией обучения. В том случае, если траектория обучения в процессе прохождения каждого j -го вопроса лежит в допустимых пределах

$$y_j^{[i]} - y_{j-1}^{[i]} \geq 0,$$

у тестируемого происходит накопление информации, и, следовательно, происходит запоминание изменений настроек $k_j^{[i]} = [K_p, T_I, T_d]$. Результат сравнения $y_j^{[i]} - y_{j-1}^{[i]} < 0$ свидетельствует об отсутствии накопления знаний.

4. По истечению периода $t_{i-1} \leq t < t_i$ (например, при прохождении тестируемым тестовых заданий по определенной теме), происходит расчет средних значений $\bar{k}^{[i]} = [K_p, T_I, T_d]$ новых настроечных коэффициентов регулятора, что можно интерпретировать как переход количественного накопления информации в профессиональные знания, в результате чего алгоритм принятия решения тестируемым переходит на другой уровень.

5. Исходя из цели функционирования данного алгоритма (3), уровень обучаемости (профессионального роста) тестируемого (или степень эффективности организации тестового сеанса в режиме обучения) оценивается по степени близости значения функционала $\Phi(e^{[i]}, t)$ к допустимой степени отклонения от заданного (оптимального) уровня (меры) знаний, обеспечивающего положительный („отличный“) результат прохождения тестового сеанса E_0 .

ЗАДАЧА 2. Модель системы управления сеансом автоматизированной профессиональной аттестации в режиме экономии энергии в управляемой системе.

Предполагается, что в режиме тестирования векторами задано входное воздействие $r(t) = \{r_t^{[i]}\}$ и настроечные весовые коэффициенты $a = \{a^{[i]}\}$, $b = \{b^{[i]}\}$, $c = \{c^{[i]}\}$, где $i=1,4$.

Методика организации тестового сеанса в данной постановке задачи предполагает использование тестовых заданий четырех целевых уровней владения профессиональными навыками $U^{[i]}$, идентифицированных согласно приведенной автором классификации $U^{[i]} = \{V^{[i]}, P^{[i]}, Z^{[i]}\}$, где $V^{[i]}$ – вид тестового задания закрытой формы; $P^{[i]}$ – граничная вероятность угадывания; $Z^{[i]}$ – уровень владения профессиональными навыками. Например:

$U^{[1]}: V^{[1]} = \{\text{С одним правильным ответом}\}$,
 $P^{[1]} = 0,200$, $Z^{[1]} = \{\text{Распознавание объектов, понятий, фактов, законов, моделей}\}$;

$U^{[2]}: V^{[2]} = \{\text{С множественным выбором}\}$,
 $P^{[2]} = 0,125$, $Z^{[2]} = Z^{[2]}$;

$U^{[3]}: V^{[3]} = \{\text{На установление соответствия}\}$,
 $P^{[3]} = 0,025$, $Z^{[3]} = \{\text{Решение типовых задач, действия по образцу, по знакомому алгоритму или правилу}\}$;

$U^{[4]}: V^{[4]} = \{\text{На установление правильной последовательности}\}$, $P^{[4]} = 0,002$, $Z^{[4]} = \{\text{Анализ ситуаций, разработка и реализация алгоритмов решения нетиповых задач на основе освоенных операций}\}$.

Очевидно, что приведенные уровни владения профессиональными навыками, контролируемые с помощью тестовых заданий более высокого целевого уровня, включают в себя набор профессиональных навыков, проверяемых всеми предыдущими, более низкими целевыми уровнями

$$U^{[1]} \subset U^{[2]} \subset U^{[3]} \subset U^{[4]}.$$

Автором обоснована целесообразность последовательности подачи тестовых заданий в порядке уменьшения проверяемого уровня профессиональной подготовленности ($U^{[4]} \rightarrow U^{[3]} \rightarrow U^{[2]} \rightarrow U^{[1]}$) [9]. Причем, успешное решение большего количества заданий четвертого ($i=4$) целевого уровня $U^{[4]}$ может быть интерпретировано как достижение максимального установленного (желаемого) уровня (меры) профессиональных навыков $r_t^{[4]}$. Окончание тестового сеанса по результатам правильного решения большего количества заданий четвертого целевого уровня может рассматриваться как заслуженное поощрение тестируемых с высоким уровнем подготовки. В случае неудовлетворительного результата прохождения тестовых заданий текущего уровня тестируемый может подтвердить наличие у него $r_t^{[i-1]}$ (желаемого) уровня (меры) профессиональных навыков при прохождении соответствующего ему набора тестовых заданий $U^{[i-1]}$ целевого уровня.

Поскольку каждый из целевых уровней характеризует определенную степень профессионализма тестируемого, то количество фактически пройденных уровней α позволяет выявить его способности и его будущую сферу наиболее эффективного применения. Так успешное прохождение уровня $U^{[4]}$ может быть рассмотрено как высокий профессионализм в области креативных решений и нестандартного мышления и, возможно, как информация о необходимости продвижения специалиста на более высокую (руководящую) должность. Максимальный набор баллов на уровне $U^{[3]}$ может быть интерпретирован как умение специалиста принимать стандартные решения на среднем уровне управления. Получение положительной оценки за счет прохождения уровней $U^{[1]}$ и $U^{[2]}$ может рассматриваться как свидетельство наличия у тестируемого базовых знаний, достаточных для заранее спланированной (предопределенной) исполнительской работы.

Тогда моменты времени t_1, t_2, \dots, t_N ($N=4$) являются периодами адаптации путем включения режима идентификации объекта управления, характеризующегося переходом, согласно изложенной выше методике,

на подачу тестових завдань $U^{[i-1]}$ более низкого професіонального рівня в даній предметній області. Довжина інтервалів часу така, що

$$t_{i+1} - t_i > t_i^{[id]}, i = 1, 2, 3, \dots, N,$$

де $t_i^{[id]}$ – час адаптації на i -м режимі роботи об'єкта ($i = 1, N$).

В процесі адаптації ПИД-регулятора (тестуємого) к змінюємому цілевому рівню перевірки професіональних навчків $U^{[i]}$ ошибка слєженія на кждом інтервалє должна бьтє огранєченної

$$|\varepsilon^{[i]}| = |\varepsilon^{[i]*}| + \zeta, t \geq t_{id}^{[i]},$$

де $\varepsilon^{[i]*}$ – допустимая ошибка слєженія (допустимое отклонєніє от заданной меры тестируємых професіональных навчків) на i -ом цілевом рівню при известных коєффициєнтах об'єкта; ζ – достаточнє малое положитєльное число.

Необходимость перехода АСПА с i -го на $(i-1)$ -й целевой уровень тестирования, как и фактическое количество целевых уровней α , которые должен пройти тестируемый для адекватной его профессиональной пригодности и определения способностей, определяется текущей несвязкой – коєффициєнтом интенсивности $K_y^{[i]}$ отклонєнія фактической професіональной подготовленности от заданного (оптимального) уровня (меры) знаній на текущем – i -м целевом уровне, который определяется как [10]

$$K_y^{[i]} = \frac{1}{a_i} \frac{\int_{t_i}^{t_i+a_i} |y^{[i]}(t) - r^{[i]}(t)| dt}{r^{[i]}(t)},$$

где a_i – некое положительное число, удовлетворяющее неравенству $t_i + a_i < t_{i+1}$.

Наличие данного показателя $K_y^{[i]}$ позволяет на его основе сформировать критерий $\Psi(K_y^{[i]}, t)$ качества настройки регулятора – качества идентификации професіональных навчків и способностей тестируємого – путем изменения значений коєффициєнтов ПИД-регулятора $k = [K_p, T_i, T_d]$ для проверки другого (более близкого его реальному уровню) уровня професіональных навчків с использованием соответствующих данному уровню настроечных коєффициєнтов $a^{[i]}, b^{[i]}, c^{[i]}$.

Тогда автором ставится задача идентификации алгоритма μ настройки (максимальной самореализации) тестируємого

$$\mu(r^{[i]}, y^{[i]}, \eta^{*[i]}, K_y, t)$$

в виде процедур, обеспечивающих на основе невязки $K_y^{[i]}$ и информации о входных $r(t) = \{r_t^{[i]}\}$ и выходных $y(t)$ параметрах системы стремление значения выбранного критерия $\Psi(K_y^{[i]}, t)$ качества настройки параметров $k = [K_p, T_i, T_d]$ к некоторой, сколько угодно малой, допустимой степени отклонения от заданного $r_t^{[i]}$ уровня (меры) знаній, обеспечивающей положительный результат прохождения тестового сеанса $\eta^{*[i]}$ ($\eta^{*[i]} \leq 80\% \cdot r^{[i]}(t)$)

$$\Psi(K_y^{[i]}, t) \rightarrow \eta^{*[i]}, \quad (4)$$

реализуя тем самым режим экономии энергии в управляемой системе (максимизации степени отклонения времени, фактически потраченного на тестовый сеанс T_f , от нормативного установленного T_n)

$$T_m = T_n - T_f$$

$$F(U^{[i]}, T_m, \alpha) \rightarrow extr. \quad (5)$$

Структура автоматической системы управления, соответствующая задаче идентификации алгоритма μ настройки адаптивного ПИД-регулятора, представляющей собой изменение параметров тестируємого в процессе достижения максимальной самореализации при идентификации реальных професіональных навчків и способностей тестируємого АСПА в конкретной предметной области, и позволяющей оптимизировать режим экономии энергии в управляемой системе, может быть представлена следующей схемой (рис. 3).

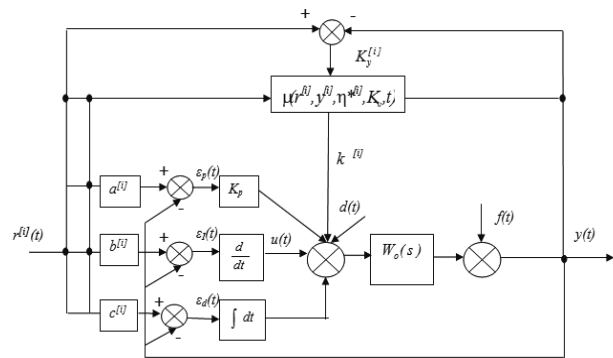


Рис. 3. Пример структуры АСПА в режиме экономии энергии в управляемой системе с адаптивным ПИД-регулятором

Алгоритмическая интерпретация данной структурной схемы может быть следующей:

1. Тестируємый (ПИД-регулятор) получает на вход информацию о заданной мере професіональной подготовленности $r_t^{[i]}$, контролируемой на данном целевом уровне $U^{[i]}$ с установленными эксперт-

ным путем настроечными весовыми коэффициентами $a^{[4]}, b^{[4]}, c^{[4]}$.

2. Алгоритм адаптации $\mu(r^{[i]}, y^{[i]}, \eta^{*[i]}, K_y, t)$ первоначально контролируемых параметров $k^{[4]} = [K_p^{[4]}, T_I^{[4]}, T_d^{[4]}]$ производится по истечению периода t_i на основании анализа значения текущей несвязки $K_y^{[i]}$ (ошибки, которую вносят незнания (непрофессионализм) тестируемого на i -м целевом уровне в выходной сигнал, отнесенной к задающему воздействию). В том случае, если *качество идентификации профессиональных навыков и способностей* тестируемого лежит в пределах допустимого уровня (меры) знаний на текущем – i -м целевом уровне, то тестовый сеанс заканчивается

$$K_y^{[i]} \leq \eta^{*[i]} ; \quad (6)$$

$$\alpha = 4 - i .$$

3. Если условие (6) не соблюдается, АСПА инициирует переход на $(i-1)$ -й целевой уровень тестирования, в связи с чем происходит формирование новых настроечных коэффициентов регулятора $k^{[i-1]} = [K_p^{[i-1]}, T_I^{[i-1]}, T_d^{[i-1]}]$, что можно интерпретировать как стремление тестируемого к достижению *максимальной самореализации* (самовыражению) при идентификации его реальных профессиональных навыков и способностей.

4. Исходя из цели функционирования данного алгоритма (4, 5), качество адекватности оценки профессиональных навыков (эффективности самореализации тестируемого) оценивается по степени близости значения функционала $\Psi(K_y^{[i]}, t)$ к допустимой степени отклонения от заданного $r_i^{[i]}$ уровня (меры) знаний, обеспечивающей положительный результат прохождения тестового сеанса $\eta^{*[i]}$, а также степенью *экономии энергии в управляемой системе* T_m .

Выводы. Предложены математические модели и алгоритмы идентификации тестируемого как адаптивного ПИД-регулятора системы автоматизированной профессиональной аттестации, позволяющие рассмотреть специфические особенности динамики процессов его самонастройки в режимах обучения тестируемого и экономии энергии в управляемой системе. Обоснована целесообразность использования в процессе организации работы системы автоматизированной профессиональной аттестации алгоритма последовательности подачи тестовых заданий в порядке уменьшения проверяемого уровня профессиональной подготовленности, а также эффективности использования критериев оптимизации следующих показателей: качества (результативности) процесса обучения (обучаемости) тестируемого; степени самореализации (самовыражения) тестируемого при идентификации его реального уровня профессиональных навыков и способностей; экономии энер-

гии в управляемой системе (минимизации фактического времени прохождения тестового сеанса).

Список літератури / References

1. Ротач В.Я. Адаптация в системах управления технологическими процессами / В.Я. Ротач // Промышленные АСУ и контроллеры – 2005.– №1.– С. 4–10.
Rotach, V.Ya. (2005), “Adaptation in the systems of management of technological processes”, *Promyshlennyye ASU i kontrolyery*, no.1, pp. 4–10.
2. Александров А.Г. Адаптивное управление объектом с запаздыванием / А.Г. Александров // Труды IX Международной Четаевской конференции „Аналитическая механика, устойчивость и управление движением“, посвященной 105-летию Н.Г. Четаева – Иркутск, 2007. – Том 3: Управление и оптимизация. – С. 6–13.
Alexandrov, A.G. (2007), “Adaptive management of an object with lagging”, *Proc. of the 9th International Chataev conference “Analytical mechanic, stability and motion management”*, dedicated to the 105th anniversary of N.G. Chataev, Volume 3: Management and optimization, Irkutsk, pp. 6–13.
3. Солдатов В.В. Адаптивная настройка систем управления с ПИД-регуляторами в условиях информационной неопределенности / В.В. Солдатов, П.Е. Ухаров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2004. – № 8. – С. 16–20.
Soldatov, V.V. and Ukharov, P.E. (2004), “Adaptive adjustment of management systems with PID-regulators in the conditions of information uncertainty”, *Devices and systems. Management, control, diagnostics*, no.8, pp. 16–20.
4. Скороспешкин М.В. Цифровой адаптивный корректор динамических характеристик САР с амплитудным ослаблением / М.В. Скороспешкин // Наука. Технологии. Инновации: Матер. Всеросс. Научной конф. молодых ученых, 8–11 декабря 2005. – Новосибирск: НГТУ, 2005. – С. 35–36.
Skorospeshkin M.V. (2005), “Digital adaptive corrector of dynamic characteristics of SAR with amplitude descent”, *Materials of all-Russian Scientific Conference of Young Scientists “Science. Technologies. Innovations”*, December 8–11, 2005, NSTU, Novosibirsk, pp. 35–36.
5. Усков А.А. Эмпирический принцип синтеза нечетких логических регуляторов / А.А. Усков // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика – 2004. – № 1. – С. 16–18.
Uskov, A.A. (2004), “Empirical principles of synthesis of fuzzy logic regulators”, *Devices and systems. Management, control, diagnostics*, no.1, pp. 16–18.
6. Ротач В.Я. Возможен ли синтез нечетких регуляторов с помощью теории нечетких множеств? / В.Я. Ротач // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2004. – №1. – С. 33–34.
Rotach, V.Ya. (2004), “Can synthesis of fuzzy regulators be possible with the help of fuzzy set theory?”, *Manufacturing AMS and controllers*, no.1, pp. 33–34.
7. Pin-Yan Tsai, Huang-Chu Huang, Shang-Jen Chuang, Yu-Ju Chen, Rey-Chue Hwang (2005), “The model refer-

ence control by adaptive PID-like fuzzy-neural controller”, *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 10–12 Oct., 2005, Vol. 1, pp. 239–244.

8. Васильев Е.М. Синтез адаптивных промышленных регуляторов. / Е.М. Васильев, О.Ю. Таратынов // „Электротехнические комплексы и системы управления“. Перспективные исследования. – Воронеж: ЗАО „Воронежский инновационно-технологический центр“, 2008. – №3. – С. 54–58

Vasyliiev, E.M. and Taratynov, O.Yu. (2008), “Synthesis of adaptive manufacturing regulators”, *Elektrotekhnicheskiye komplekxy i sistemy upravleniya*, Prospective researches, ЗАО “Voronezh innovation and technological centre”, no.3, pp. 54–58.

9. Пат. на корисну модель 58657 Україна: МПК G06F 7/00. Спосіб проведення комп’ютерного тестування знань студентів / Тараненко Ю.К., Ризун Н.О.; замовник та патентовласник: Тараненко Ю.К., Ризун Н.О. – № u 2010 09376, заявл. 26.07.2010; опубл. 26.04.2011; Бюл. № 8 – 14 с.

Taranenko, Yu.K. and Rizun, N.O. Patent no.58657 of Ukraine: IPC G06F 7/00. “Method of conducting the computer testing of students’ knowledge”, Declarants and license owners: Taranenko, Yu.K., Rizun, N.O., no. u 2010 09376, declared July 26, 2010, published April 26, 2011, bulletin no.8, 2011, 14 p.

10. Пат. России № RU 2419122. Самонастраивающийся ПИД регулятор / А.Г. Александров – 2011, Бюл. №14.

Alexandrov, A.G. and Palenov, M.V. (2011), Patent of Russian Federation, no. RU 2419122. “Self-adjusting PID-regulator”, bulletin no.14.

Мета. Метою статті є формалізація математичних моделей та алгоритмів ідентифікації особи, що тестується, як адаптивного ПІД-регулятора у складі автоматизованої системи професійної атестації.

Методика. Методика досліджень базується на теорії автоматичного управління та теорії педагогічного тестування.

Результати. Результатами досліджень є: ідентифікація особи, що тестується, як ланки в контурі управління процесом тестової професійної атестації зі зворотним зв’язком, що використовується для підтримки заданого значення вимірюваного рівня знань та адаптації параметрів системи, що змінюються у часі, використовуючи при цьому відповідні алгоритми прийняття рішень; формалізація математичних моделей системи управління сеансом автоматизованої професійної атестації в режимі навчання особи, що тестується, та в режимі економії енергії в системі.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає в постановці й вирішенні проблеми моделювання динаміки процесів самонастроювання особи, що тестується, у ході тестового сеансу шляхом ідентифікації та математичної формалізації алгоритму послідовності подачі тестових завдань у порядку зменшення рівня професійної підготовленості, що перевіряється, а також критеріїв оптимізації наступних показників: якості (результативності) процесу навчання (навченості)

особи, що тестується; ступеню самореалізації (самовираженні) особи, що тестується, при ідентифікації реального рівня професійних навичок і здібностей; економії енергії в автоматизованій системі (мінімізації фактичного часу проходження тестового сеансу).

Практична значимість. Практична значимість роботи полягає в розробці алгоритмів: налаштування параметрів ПІД-регулятора (особи, що тестується) в режимі навчання з мінімальним ступенем відхилення від заданої траєкторії навчання; налаштування параметрів ПІД-регулятора (особи, що тестується) в режимі максимальної самореалізації з максимальною економією часу, фактично витраченого на тестовий сеанс.

Ключові слова: адаптація, ПІД-регулятор, автоматизована система, професійна атестація, тестовий сеанс

Purpose. Formalization of mathematic models and algorithms of identification of a testee as a PID-regulator as part of the automated system of professional attestation.

Methodology. The research methodology is based on the theory of automatic control and the theory of pedagogic testing.

Findings. The research results are as follows: identification of a testee as a link in the contour of management of the process of testing professional attestation with the feedback, used for supporting the set value of the measurable knowledge level; formalization of mathematic models of the system of management of the session of automated professional attestation in the regime of testee’s education and in the regime of energy saving in the managed system.

Originality lies in the statement and solution of the problem of modeling of the processes dynamic in the self-adjustment of a testee during the testing session by means of identification and mathematic formalization of the algorithm of sequence of testing tasks supply in the order of descending of the level of examined professional readiness, as well as of the criteria of optimization of the following indices: quality (effectiveness) of the study process (educability) of a testee; degree of self-realization (self-expression) of a testee during identification of the real level of testee’s professional skills and abilities; energy saving on the controlled system (minimization of actual time of testing session passing).

Practical value. Development of the following algorithms: adjustment of PUD-regulator (testee) parameters in the regime of study with the minimal degree of deviation from the set study path; adjustment of PUD-regulator (testee) parameters in the regime of maximum self-realization with maximum saving of time, actually spent during the testing session.

Keywords: adaptation, PID-regulator, automated system, professional attestation, testing session

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Ю.К. Тараненком. Дата надходження рукопису 16.05.12.