

## УЧЕТ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УЧЕНИКА В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ

А.Н. Варнавский (РГРТУ)

*В работе рассматривается возможность учета психофизиологического состояния ученика в системе электронного обучения. На основе регрессионного анализа экспериментальных данных построена логистическая модель, позволяющая перед началом работы обучаемого в системе оценить его способность к эффективному обучению. Контроль состояния ученика в процессе обучения предложено осуществлять по динамике кожно-гальванической реакции. Разработана сетевая модель, описывающая работу системы электронного обучения с учетом психофизиологического состояния ученика.*

*Ключевые слова: система электронного обучения, психофизиологическое состояние, показатели когнитивных процессов, логистическая модель, кожно-гальваническая реакция, сетевая модель, начальное состояние обучаемого, текущее состояние обучаемого.*

### Введение

В настоящее время большой популярностью для поддержки заочной формы обучения и самостоятельной работы студентов очной формы обучения пользуются системы электронного или дистанционного обучения. В таких системах пользователи самостоятельно изучают информацию представленную, в частности на HTML-страницах. К достоинствам использования таких систем относится не только возможность студентом самостоятельно выбирать оптимальное для него время обучения, но и возможность персонализации [1] и адаптации процесса обучения с учетом индивидуальных свойств обучаемого, его текущего и базового уровня подготовки. Анализ работ, посвященных повышению эффективности работы в системах электронного обучения, показал, что преимущественно они направлены именно на учет начального или текущего уровня знаний и умений студента.

Курсы, в которых происходит учет индивидуальных способностей студента, его знаний и умений, называют интеллектуальными или адаптивными [2]. В [3, 4] предложены подходы к созданию адаптивных и интеллектуальных технологий для учебных курсов на Web-платформе, позволяющие формировать учебную программу в зависимости от уровня обучаемого. Плагин для адаптации построения структуры учебного курса в системе дистанционного обучения Moodle описан в [5]. В [6] предложено учитывать свойства обучаемого при формировании тестовых заданий.

К недостаткам электронного обучения относится то, что чтение с экрана является более трудоемким процессом, при котором создается большая нагрузка на головной мозг. При этом отсутствие контроля за психофизиологическим состоянием обучаемого может привести к тому, что он будет работать в системе в неоптимальном состоянии, которое может возникнуть как при снижении уровня работоспособности в процессе обучения с течением времени, так и из-за того, что его состояние перед началом работы не было оптимальным.

Поскольку психофизиологическое состояние влияет на эффективность обучения, актуальной является задача учета состояния ученика в процессе электронного обучения. Грамотная реализация данной задачи способна повысить эффективность процесса обучения.

Целью работы является разработка способов и средств учета психофизиологического состояния ученика, а также модели работы системы электронного обучения с учетом его состояния.

Для достижения поставленной цели предлагается использовать психофизиологическое тестирование, съем и анализ биоэлектрических сигналов обучаемого, модели состояния, позволяющие оценить способность ученика к эффективной работе в системе, развитие утомления и психоэмоционального напряжения.

### Оценка начального состояния обучаемого

Использование оценки начального состояния ученика позволит перед началом работы в системе спрогнозировать его способность к эффективному обучению. Это может быть осуществлено на основе применения модели, которая по величинам показателей когнитивных процессов, полученных по результатам психофизиологического тестирования, прогнозирует вероятность успешного обучения.

На основе данных, полученных в серии экспериментов, была построена логистическая модель (классификатор), осуществляющая предсказание успешности работы с информацией по значениям показателей работоспособности, памяти и внимания. Данные когнитивные процессы были выбраны исходя из того, что они являются основными при работе с информацией.

### Метод проведения эксперимента

а. Участники. Участниками эксперимента являлись 30 студентов 2–5 курсов Рязанского государственного радиотехнического университета. Число лиц мужского пола — 19, женского — 11. Средний возраст участников составил 20,4 года, стандартное отклонение возраста — 0,72.

б. Материалы. Для проведения эксперимента использовались тесты Крепелина на работоспособность, Бурдона–Анфимова на внимание и на запоминание [7], а также тест на понимание смысла небольшого технического научного материала.

с. Процедура исследования. Эксперименты проводились в течение 3-х дней в одинаковых условиях у групп по 8–12 человек. После проведения инструк-

тажа и объяснения смысла эксперимента испытуемые проходили пробное тестирование на память, внимание и работоспособность. При этом испытуемым сообщали две буквы, которые они должны искать и вычеркивать в тесте на внимание. Далее предъявлялась запись 10 двухзначных чисел, которые они должны были запомнить в течение 30 секунд и воспроизвести в течение 1 минуты. Для каждого испытуемого фиксировалось число правильно воспроизведенных чисел. После минутного отдыха в течение 4 мин проводился тест Крепелина, заключающийся в сложении последовательностей двух цифр, а затем после минутного отдыха в течение 4 мин — тест Бурдона—Анфимова, заключающийся в просмотре последовательности букв, поиске и вычеркивании двух заданных букв каждую своим способом. В результате прохождения данных тестов фиксировались значения общего числа произведенных операций сложений и числа верных/неверных операций, числа просмотренных букв, числа верно/неверно зачеркнутых букв. Для оценки успешности работы с информацией испытуемым предъявлялся небольшой незнакомый текст по технической дисциплине, который они должны были изучить в течение 2-х минут, а затем в течение 1-й минуты воспроизвести его, изложив основное содержание и смысл. Результат данного теста оценивался по шкале «Зачет/Незачет» путем анализа текста ответа, при этом «Зачет» ставился тогда, когда была передана большая часть содержания и смысла исходного текста.

#### Полученные результаты

По результатам эксперимента был сформирован набор из 30 наблюдений, на основе которого была рассчитана совокупность следующих параметров:

$x_1$  — коэффициент работоспособности как отношение числа произведенных операций сложения в тесте Крепелина за первую половину времени тестирования к числу операций за вторую половину,

$x_2$  — средняя скорость выполнения операций сложения в тесте Крепелина,

$x_3$  — показатель точности работы в тесте на внимание, представляющий собой отношение разности числа верно зачеркнутых букв и числа ошибок (пропусков и лишних зачеркнутых) к числу букв, которые должны быть зачеркнуты,

$x_4$  — коэффициент концентрации внимания по результатам теста Бурдона—Анфимова,

$x_5$  — коэффициент памяти, представляющий собой процент верно запомненных и воспроизведенных двухзначных чисел,

$Y$  — результат успешности воспроизведения предложенной информации по шкале «Зачет/Незачет».

Результаты участников эксперимента представлены на рис. 1. Здесь каждая точка соответствует результатам конкретного участника, показано влияние средней скорости выполнения операций сложения  $x_2$  и показателя точности работы  $x_3$  на результат успешности воспроизведения информации по шкале

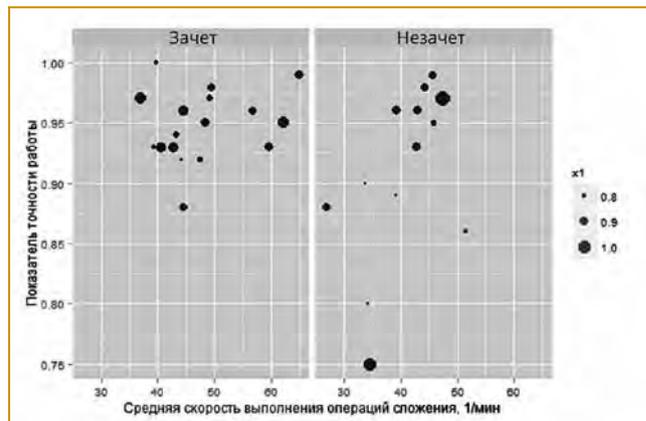


Рис. 1. Результаты участников эксперимента

«Зачет/Незачет», причем размер точки пропорционален коэффициенту работоспособности  $x_1$ . Из рисунка видно, что те испытуемые, которые имели низкие значения точности работы, средней скорости выполнения операций сложения, коэффициента работоспособности получили «Незачет». Среди тех, кто получил «Незачет» были и такие, которые имели высокий показатель точности работы и среднее значение скорости выполнения операций сложения, однако у них были невысокими другие показатели внимания и памяти. Кроме того, небольшое число испытуемых не смогли разобраться в смысле представленного технического текста, хотя у них были средними рассматриваемые значения показателей внимания и памяти.

Величина  $Y$  оценивает успешность работы с информацией и принимает два значения: «Зачет» и «Незачет». Для аналитического описания этого показателя можно использовать логистическую регрессию

$$y(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = \frac{e^{f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)}}{1 + e^{f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)}},$$

которая в зависимости от значений  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  формирует значение  $y$  в интервале от 0 до 1. Полученное значение  $y$  является прогнозируемой вероятностью успешности работы с информацией. Для перехода к  $Y$  необходимо задать пороговый уровень  $\Delta y$  и формировать значение  $Y$  по правилу:

$$Y = \begin{cases} \text{Незачет, если } y < \Delta y; \\ \text{Зачет, если } y \geq \Delta y. \end{cases}$$

Регрессионный анализ данных был проведен в статистическом пакете R. Были рассмотрены различные возможные варианты функции  $f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ , при каждом варианте функции определялся процент правильных классификаций и описательные статистики. Получено, что при использовании логистической регрессии вида

$$y(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = \frac{e^{a_0 + x_2^3(a_1 x_1 x_3^5 + a_2 x_3 x_1^4 + a_3 x_3 \sqrt{x_4} + a_5 \log(x_5))}}{1 + e^{a_0 + x_2^3(a_1 x_1 x_3^5 + a_2 x_3 x_1^4 + a_3 x_3 \sqrt{x_4} + a_5 \log(x_5))}}$$

и порогового значения  $\Delta y$  равного 0.31 можно правильно предсказать успешность работы с информацией у 85% испытуемых. Для 15% испытуемых клас-

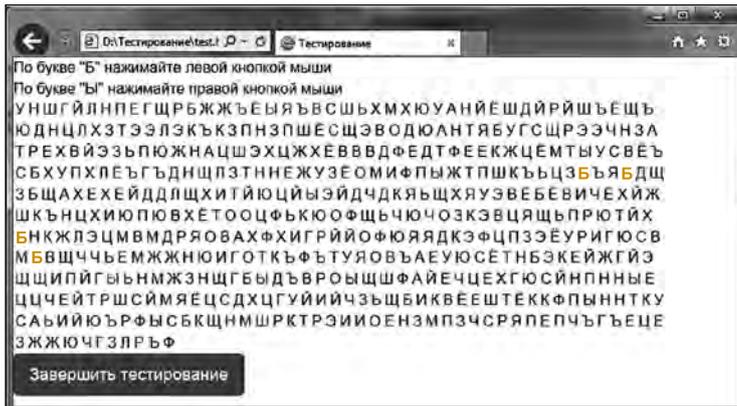


Рис. 2. Вид реализованного на JavaScript теста Бурдона–Анфимова

сификация была неверной, это могло быть связано с тем, что эти испытуемые «халтурно» подошли к выполнению тестирования.

Если в результате прогнозирования получено значение  $Y = \text{«Незачет»}$ , то это может свидетельствовать об отсутствии настроя на обучение или плохом психофизиологическом состоянии. В любом случае необходима некоторая подготовка ученика к работе в системе и повторному тестированию.

Таким образом, получена модель, позволяющая оценить успешность ученика эффективно работать с информацией в системе электронного обучения по значениям показателей когнитивных процессов. В дальнейшем планируется улучшить модель, проведя большее число экспериментов и добавив в модель другие показатели когнитивных процессов.

Если работа в системе электронного обучения осуществляется с помощью браузера, то рассматриваемые психофизиологические тесты могут быть реализованы в виде плагина на языке JavaScript или PHP. На рис. 2 представлен пример реализованного теста Бурдона–Анфимова.

### Оценка текущего психофизиологического состояния

Психофизиологическое тестирование не может использоваться для динамической оценки текущего психофизиологического состояния обучаемого в процессе работы с системой электронного обучения, поскольку требует отвлечение обучаемого на выполнение тести-



Рис. 3. Макет модифицированного манипулятора «мышь» для съема КГР

рования. Можно предложить использовать анализ биоэлектрических сигналов, в частности, кожно-гальванической реакции (КГР). При этом необходима аппаратная часть для съема сигнала КГР и программная часть для ее анализа. Программная часть может быть реализована в системе электронного обучения в виде плагина, а для аппаратной части можно предложить использовать модифицированную конструкцию манипулятора «мышь».

Для снятия сигнала кожно-гальванической реакции предлагается использовать схему на основе делителя напряжения из сопротивления участка ладони и резистора, встроенного в манипулятор. В качестве участка ладони может быть выбрано расстояние между указательным и средним пальцами. В таком случае электроды для съема КГР могут быть расположены на левой и правой кнопках манипулятора «мышь». Создан макет такого манипулятора, позволяющего передавать в персональный компьютер сигнал кожно-гальванической реакции (рис. 3).

Для оценки психоэмоционального состояния обучаемого на основе анализа КГР необходимо осуществлять выделение двух составляющих: тонической и фазической. Тоническая — низкочастотная составляющая характеризует психофизиологическое состояние человека. Соответственно, чем меньше сопротивление кожи, тем выше активность нервной системы, уменьшение сопротивления кожи свидетельствует об утомлении человека. Фазическая — высокочастотная составляющая характеризует колебания сигнала под действием эмоционально значимых факторов. Соответственно, большое число колебаний сигнала в единицу времени может свидетельствовать о негативном воздействии на человека текущих психоэмоциональных факторов. Использование совокупности тонической и фазической составляющих позволяет сделать вывод о текущем функциональном состоянии обучаемого. Для анализа КГР можно использовать алгоритм, представленный в [8].

Пороговые уровни для составляющих КГР могут быть заданы, исходя из значения сигнала КГР в момент начала работы в системе электронного обучения. В таком случае можно сопоставить результаты психофизиологического тестирования с величиной сопротивления кожи обучаемого.

### Сетевая модель работы системы электронного обучения

Можно предложить следующий алгоритм работы системы электронного обучения с использованием разрабатываемых аппаратно-программных средств и логистической модели по контролю и учету психофизиологического состояния обучаемого.

1. Проведение психофизиологического тестирования перед началом работы.

2. Прогнозирование успешности текущего обучения на основе полученной логистической модели.

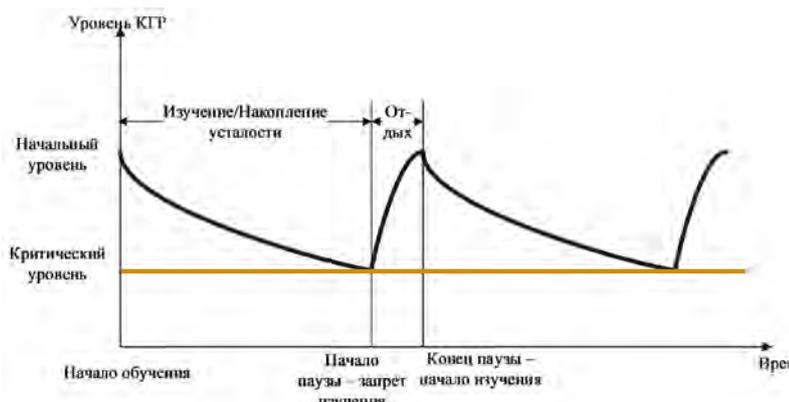


Рис. 4. Принцип использования изменения уровня КГР для организации работы в системе электронного обучения

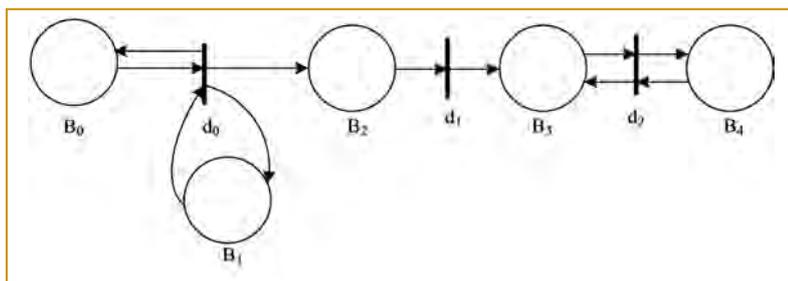


Рис. 5. Сетевая модель Петри для описания работы системы электронного обучения

3. В случае если результат прогноза является неудовлетворительным, осуществляется подготовка обучаемого к работе в системе до тех пор, пока после повторного психофизиологического тестирования результат прогноза не станет удовлетворительным.

4. При удовлетворительном прогнозе разрешается работа в системе электронного обучения. На основе анализа

и оценки уровня КГР формируются критические уровни показателей функционального состояния.

5. В процессе работы в системе осуществляется съем и анализ КГР и контроль показателей текущего функционального состояния обучаемого. Если в результате такого контроля значения показателей функционального состояния достигли критических уровней, в частности, развилось утомление, то осуществляется принудительный запрет на работу, и обучаемому предоставляется интервал для отдыха и восстановления состояния (рис. 4).

Для описания процесса работы системы электронного обучения с учетом психофизиологического состояния ученика составим сетевую модель Петри.

Выделим множество  $\{B_i\}$  возможных состояний обучаемого в процессе взаимодействия с системой электронного обучения:

$B_0$  — начальное состояние обучаемого перед входом в систему,

$B_1$  — подготовка ученика к процессу обучения в случае, если прогноз успешности обучения не удовлетворительный,

$B_2$  — разрешение работы в системе электронного обучения,

$B_3$  — работа в системе электронного обучения,

$B_4$  — отдых или перерыв в процессе работы в системе электронного обучения.

Множество  $\{d_j\}$  возможных переходов, описывающих переход из одного состояния в другое, следующее:

$d_0$  — начальное психофизиологическое тестирование, позволяющее спрогнозировать успешность обучения в системе,

$d_1$  — начало работы с системой электронного обучения,

$d_2$  — контроль текущего функционального состояния в процессе работы в системе.

Тогда сетевая модель Петри будет выглядеть следующим образом (рис. 5).

В системе Moodle создана демонстрационная версия учебного курса, в котором добавлен модуль, позволяющий анализировать уровень кожно-гальванической реакции, снимаемый с манипулятора «мышь», и в зависимости от этого влиять на доступность различных элементов курса, запрещая их выполнение при неудовлетворительном психофизиологическом состоянии (рис. 6).

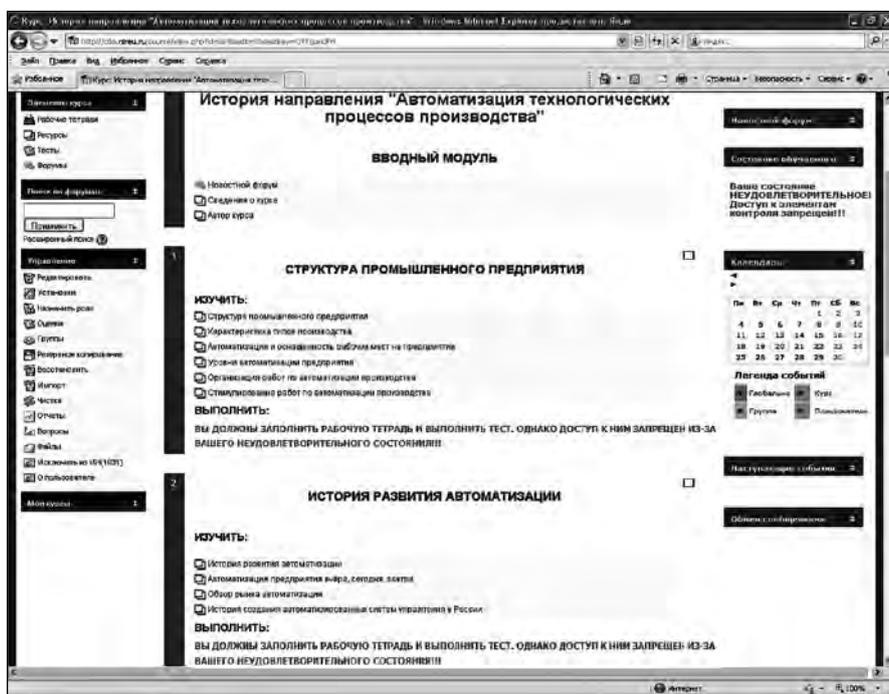


Рис. 6. Курс в системе Moodle, учитывающий функциональное состояние обучаемого

**Заключение**

В работе представлены способы и средства повышения эффективности процесса электронного обучения на основе учета психофизиологического состояния ученика. Предложенная логистическая модель позволяет оценить готовность ученика к работе в системе электронного обучения. В случае неудовлетворительного результата прогнозирования обучаемому может быть предложено осуществить подготовку к работе в системе и повторное тестирование для приобретения соответствующего настроения на работу. В дальнейшем планируется улучшить данную модель, проведя большее число экспериментов и добавив в модель большее число показателей когнитивных процессов, в том числе использовать нечеткую логику для построения модели.

Контроль кожно-гальванической реакции ученика в процессе обучения позволит оценить динамику психофизиологического состояния, в том числе развитие утомления в процессе обучения, что в последующем может использоваться для оптимизации процесса электронного обучения и подбора соответствующей учебной нагрузки.

Алгоритм функционирования предложенных аппаратно-программных средств описан с помощью сетевой модели Петри. Данная модель представляет собой динамическое описание процесса работы системы электронного обучения с учетом функционального состояния обучаемого, позволяет проиллюстрировать переход системы из одного состояния в другое при тех или иных условиях.

Разработанные аппаратно-программные средства тестируются в Рязанском радиотехническом университете.

**Список литературы**

1. Солонина А.Г. Концепция персонализированного обучения: моногр. М.: Прометей, 1997.
2. Живенков А.Н. Анализ существующих и пути развития интеллектуальных обучающих курсов // Информационные системы и процессы, 2009. Вып.8.
3. Brusilovsky P. Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems // International Journal of Artificial Intelligence in Education. 2003. № 13.
4. Weber G. Elm-Art: An adaptive versatile system for Web-based instruction // International Journal of Artificial Intelligence in Education. 2001. № 12.
5. Живенков А.Н., Иванова О.Г. Формирование плагинов LMS Moodle для адаптивного построения структуры курса электронного обучения // Научные ведомости. Серия «История. Политология. Экономика. Информатика», 2010. № 19 (90). Выпуск 16/1.
6. Опарина Н.М. Влияние психофизиологических характеристик обучаемых на эффективность их работы при использовании АСО // Педагогическая информатика. – 2004. №2. – С. 81-88.
7. Бруннер Е.Ю. Лучше, чем супервнимание. Методики диагностики и психокоррекции. Ростов-на-Дону: «Феникс», 2006.
8. Варнавский А.Н. Имитационное моделирование производительности труда работника при разных вариантах организации производственных работ // Автоматизация в промышленности, 2013. №7.

*Варнавский Александр Николаевич — канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник Рязанский государственный радиотехнический университет.  
Контактный телефон (4912) 46-03-43.  
E-mail: varnavsky\_alex@rambler.ru*

## КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТРЕНАЖЕРЫ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА УПРАВЛЕНИЮ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ ПОТЕНЦИАЛЬНООПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

**О.В. Ершова, А.М. Полякова, Т.Б. Чистякова (СПбГТИ(ТУ))**

*Предложена методика синтеза тренажеров. Тренажеры предназначены для обучения персонала и приобретения навыков эффективного управления электротехнологическими установками в потенциальноопасных производствах алюминия, карбида кальция и фосфора. Представлены функциональная структура тренажеров, информационное и математическое обеспечение.*

*Ключевые слова: методика синтеза, компьютерные тренажеры, электротехнологические установки, автоматизированное рабочее место, обучаемый, инструктор, сценарии обучения, контроль знаний, протокол обучения.*

**Введение**

В российской промышленности остро ощущается потребность как в высококвалифицированных кадрах, так и в прогрессивных средствах обучения для их подготовки [1]. Концепция дуального обучения предполагает, что теоретическая часть подготовки проходит на базе образовательной организации, а практическая — на рабочем месте.

Предложен подход к построению тренажеров для электрохимического производства алюминия и электротермических производств карбида кальция и фосфора.

С учетом общих признаков электрохимических и электротермических производств целесообразно создание единой структуры ПО тренажеров для этого класса объектов.