

# МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СТУДЕНТА

**А.В. Лямин, В.А. Разыграева, А.А. Скшидлевский**  
Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий,  
механики и оптики

Современный уровень развития информационно-коммуникационных технологий позволяет создавать системы электронного обучения, в основу которых положены адаптивные алгоритмы управления траекториями обучения и контроля уровня подготовки. Подобные алгоритмы используют принцип обратной связи, и их возможности определяются составом параметров, доступных для измерения во время обучения и контрольного тестирования. Традиционно обратная связь строится по результатам анализа ответов обучающегося и не учитывает его функциональное состояние в реальном масштабе времени. Задачей данного исследования является построение модели адаптивного электронного обучения, учитывающей расширенный вектор измерений на основе анализа variability сердечного ритма (ВСР).

**Ключевые слова:** адаптивное электронное обучение, индивидуальная траектория обучения, variability сердечного ритма, функциональное состояние обучающегося.

## MODEL OF LEARNING ACTION GENERATION ON THE BASIS OF STUDENT'S FUNCTIONAL STATE ANALYSIS

**A.V. Lyamin, V.A. Razygraeva, A.A. Skshidlevsky**  
Saint-Petersburg State University of IT, Mechanics and Optics

The current level of the development of IT allows creating e-learning systems based on adaptive algorithms that are controlling of learning and assessment. These algorithms use the feedback principle and their potentialities are determined by accessible for measurements parameters. Traditionally feedback based on the results of analysis of student's responses and does not take into consideration one's functional state in the online mode. The problem of the current investigation is to produce model of adaptive e-learning taking into account an extended vector of measurements based on the analysis of heart rate variability (HVR).

**Keywords:** adaptive e-learning, individual trajectory of learning, variability of heart rate, functional state of students.

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики активно участвует в Болонском процессе, т.е. в формировании европейского пространства высшего образования. Происходит смена ориентации системы высшего профессионального образования с преимущественно квалификационного (содержательного) к преимущественно компетентностному подходу в образовании. Ожидаемым следствием такой смены будет повышение профессионализма и качества подготовки специалистов, интеграция России в единое образовательное и исследовательское пространство стран – участниц Болонского процесса. Одной из десяти линий действия Болонского процесса [1] является линия, определяющая роль студенчества в осуществлении болонских

реформ, а переход к студентоцентрированной парадигме – один из важнейших аспектов этого процесса. Основной задачей компетентностного обучения становится построение индивидуальной образовательной траектории обучения [2. С. 9–15] в целом и электронного обучения в частности.

Решение проблемы эффективного управления электронным обучением является одним из направлений исследований в области дальнейшего развития образовательных технологий. Термин «электронное обучение» (E-learning), как отмечает А.В. Соловов [3], удачно интегрирует в себе ряд понятий в сфере современных образовательных технологий, основанных на широком использовании информационных и коммуникационных технологий (ИКТ). Еще одним сино-

нимом термина «электронное обучение» можно считать термин «дистанционное обучение» (ДО). В ряде публикаций [4, С. 37–48; 5, С. 204–211] под «электронным обучением» понимают адаптивное (индивидуализированное) обучение, реализованное на базе всестороннего применения мульти- и гипермедиа, удаленного доступа к распределенным образовательным ресурсам на основе веб-технологий, с автоматизированным контролем и анализом результатов обучения и широким использованием разнообразных сетевых средств взаимодействия обучающихся между собой и с преподавателем.

Повышение эффективности информационных технологий обучения связано с развитием и применением методов и средств построения информационно-образовательных систем на основе адаптивных алгоритмов управления траекториями обучения и контроля уровня подготовки.

Адаптация рассматривается в двух основных аспектах: адаптивное планирование (статическая адаптация) и адаптивное взаимодействие (динамическая адаптация). Адаптивное планирование на этапе подготовки индивидуализированного учебно-методического материала [2] позволяет реализовать адаптацию как к группе обучающихся, так и к отдельному студенту, обучающемуся по индивидуальному плану. В процессе информационного взаимодействия при динамической адаптации осуществляются как изменение содержания и способов представления учебно-методических материалов, так и всесторонняя настройка системы под обучающегося.

Подобные алгоритмы адаптации используют принцип обратной связи, и их возможности определяются составом параметров, доступных для измерения во время обучения и контроля. Традиционно обратная связь строится по результатам анализа ответов обучающегося и не учитывает его функциональное состояние в реальном масштабе времени, т.е. в процессе обучения.

Задачей данного исследования является построение модели электронного обучения, учитывающей расширенный вектор измерений на основе анализа variability сердечного ритма (ВСР) методом Р.М. Баевского [6], для оптимизации учебного процесса. Для решения поставленной задачи необходимо использовать системный подход, с позиций которого электрон-

ное обучение рассматривается как биотехническая система (БТС), в которой обучающийся играет роль биологического звена и включается в систему своей кибернетической компонентой. Эта компонента характеризуется процессом восприятия, усвоения и обработки получаемой информации.

БТС [7] представляет собой совокупность биологических и технических элементов, объединенных в единую функциональную систему целенаправленного поведения. Преимущества БТС перед техническими и биологическими системами заключаются в сочетании положительных качеств этих систем при взаимной компенсации их недостатков. Основным свойством БТС является ее *суперадаптивность*, позволяющая системе самооптимизировать свое поведение и структуру в условиях воздействия случайных факторов различного происхождения и обусловленная наличием двух контуров адаптации – внешнего и внутреннего. Внешний контур обеспечивает БТС возможность выполнять свою целевую функцию в условиях переменных воздействий внешних факторов, внутренний контур позволяет элементам БТС взаимно адаптироваться к изменению состояния друг друга, вызванного воздействием внешних и внутренних факторов. Таким образом, в БТС наличие биологических звеньев позволяет придать общим свойствам системы особую пластичность, улучшить адаптивные характеристики во внешнем контуре адаптации (особенно в системах типа «человек–машина–окружающая среда»). В то же время качество внутренней адаптации существенно зависит от возможности технических элементов системы следить за изменением состояния биологических ее звеньев и, обмениваясь информацией с биоэлементом, соответственно изменять свои характеристики.

Непременным условием оптимального функционирования БТС являются основные два принципа [8]:

– *принцип адекватности* согласования «управленческих» характеристик технических и биологических элементов системы;

– *принцип идентификации* информационной среды, требующей оптимизации интенсивности потоков и формы предъявления информации, которой в процессе функционирования обмениваются технические и биологические объекты.

В процессе синтеза биотехнической системы режимы функционирования и конструктивные решения технических элементов должны быть выбраны таким образом, чтобы максимально соответствовать морфологическим и психофизиологическим особенностям сопрягаемых с ними биологических элементов системы. Если учесть сложнейшую структуру человеческого организма, наличие многосвязных иерархических систем регулирования параметров его «внутренней среды», обеспечивающих адаптацию человека к изменениям внешних воздействий в период его операторской или учебной деятельности, то станет совершенно ясным, что наличие человека (студента) в качестве элемента любой системы придает ей свойства вероятностной очень сложной системы. Однако если биотехническая система синтезирована с учетом принципов *адекватности и идентификации* информационной среды, если психофизиологический портрет оператора обоснован достаточным объемом статистических данных, то можно от вероятностной (стохастической) модели перейти к модели ограниченно детерминированной, поддающейся аналитическому описанию и позволяющей прогнозировать динамику ее состояний.

Системы «человек–машина», в которых биологическое звено представлено человеком-оператором, в нашем случае обучающимся, выполняющим различные функции в замкнутом контуре управления технической системой, называются биотехническими системами эргатического типа (БТС-Э). В БТС-Э особенно ярко проявляются основные принципы синтеза БТС. Они требуют четкого согласования характеристик технической части системы (компьютер, программы, Интернет) с характеристиками биологического звена (обучающимся).

Однако в обычной обучающей системе принципиально невозможно добиться организации оптимального учебного процесса. Это связано, в основном, с тем, что статические и динамические характеристики биологического звена БТС могут непрерывно изменяться под влиянием внутренних и внешних факторов. Основные показатели обучающегося, оказывающие влияние на работу всей системы (общая подготовка, уровень знаний, скорость восприятия информации, психофизический тип, психофизиологическое состояние, время появления утомления и т.д.),

существенно изменяются от одного индивидуума к другому.

В разрабатываемой модели обучения осуществляется контроль функционального состояния обучающегося методом анализа ВСР, который хорошо отражает степень напряжения регуляторных систем организма, возникающую в ответ на любое стрессорное, физическое, эмоциональное, интеллектуальное воздействие.

Регуляторные системы организма – это постоянно действующий аппарат слежения за состоянием всех систем и органов, их взаимодействием и за соблюдением равновесия между организмом и средой [9]. Активность регуляторных систем зависит от функционального состояния организма. Можно условно различать три уровня активности регуляторных систем:

- 1) уровень контроля;
- 2) уровень регуляции;
- 3) уровень управления.

В обычных условиях, когда регулируемая (контролируемая) система, т.е. организм, работает в нормальном режиме, не испытывая дополнительных нагрузок, регуляторный механизм выполняет лишь контрольные функции, т.е. воспринимает информацию о состоянии регулируемой системы и не вмешивается в ее работу. Если же возникают дополнительные нагрузки, если регулируемой системе требуется увеличить расход энергии на выполнение своих функций, то механизм регуляции переходит на другой режим работы – он «вмешивается» в процесс управления и корректирует его, помогая регулируемой системе выполнить свои функции. При этом можно говорить о переходе регуляторного механизма на уровень регуляции. В этом случае через соответствующие нервные и гуморальные каналы в регулируемую систему посылаются сигналы управления, обеспечивающие мобилизацию необходимых дополнительных функциональных резервов. Если же собственные резервы регулируемой системы оказываются недостаточными для достижения необходимого эффекта, то механизмы регуляции переходят в режим управления. Здесь их активность значительно возрастает, поскольку к процессу управления необходимо подключить и другие более высокие уровни регуляции, что обеспечивает мобилизацию функциональных резервов других систем. Соответственно трем уровням актив-



Рис. 1. Двухконтурная модель регуляции сердечного ритма

ности напряжение регуляторных механизмов (их активность) возрастает. Таким образом, по степени напряжения регуляторных механизмов можно судить о функциональных резервах системы кровообращения и об адаптационных возможностях всего организма в целом.

Метод анализа ВСР основан на распознавании и измерении временных интервалов между самыми высокоамплитудными зубцами электрокардиограммы (ЭКГ), R-зубцами, или R-R-интервалами, а также построении динамических рядов кардиоинтервалов и последующего анализа полученных числовых рядов различными математическими методами. Динамический ряд кардиоинтервалов называют кардиоинтервалограммой (КИГ) [10].

Основная информация о состоянии систем, регулирующих ритм сердца, заключена в «функции разброса» длительностей кардиоинтервалов. Сердечная аритмия отражает сложные процессы взаимодействия различных контуров регуляции сердечного ритма. Наиболее простой моделью является двухконтурная модель регуляции. Она основывается на кибернетическом подходе, при котором система управления синусовым узлом представляется в виде двух взаимосвязанных контуров: центрального и автономного, управляющего и управляемого с каналами прямой и обратной связи (рис. 1). При этом воздействие автономного контура идентифицируется с дыхательной, а центрального – с недыхательной аритмией.

Центральный контур регуляции сердечного ритма – это сложнейшая многоуровневая система нейрогуморальной регуляции физиологических функций, которая включает в себя многочисленные звенья от подкорковых центров продолгова-

того мозга до гипоталамо-гипофизарного уровня вегетативной регуляции и коры головного мозга. Ее структуру можно схематично представить тремя уровнями:

- 1-й уровень (А) обеспечивает организацию взаимодействия организма с внешней средой (адаптация организма к внешним воздействиям);
- 2-й уровень (Б) осуществляет равновесие различных систем организма между собой и обеспечивает межсистемный гомеостаз;
- 3-й уровень (В) обеспечивает внутрисистемный гомеостаз в различных системах организма, в частности кардиореспираторной системе.

Недыхательная аритмия представляет собой колебания сердечного ритма с периодами выше 6–7 с (ниже 0,15 Гц).

Анализ ВСР применяется в качестве метода оценки адаптационных возможностей организма, текущего уровня стресса, интеллектуальной нагрузки и т.д.

Для анализа ВСР и измерения активности регуляторных систем может быть использован аппаратно-программный комплекс «Варикард 2.51», разработанный Институтом внедрения новых медицинских технологий «Рамена» [11]. Комплекс «Варикард 2.51» предназначен для анализа ВСР в различных областях прикладной физиологии, профилактической медицины и клинической практики. Он обеспечивает реализацию всех основных методов анализа ВСР (статистический анализ, вариационную пульсометрию, автокорреляционный и спектральный анализы) и позволяет вычислять до 40 различных параметров, рекомендуемых как российскими, так и европейско-американскими стандартами.

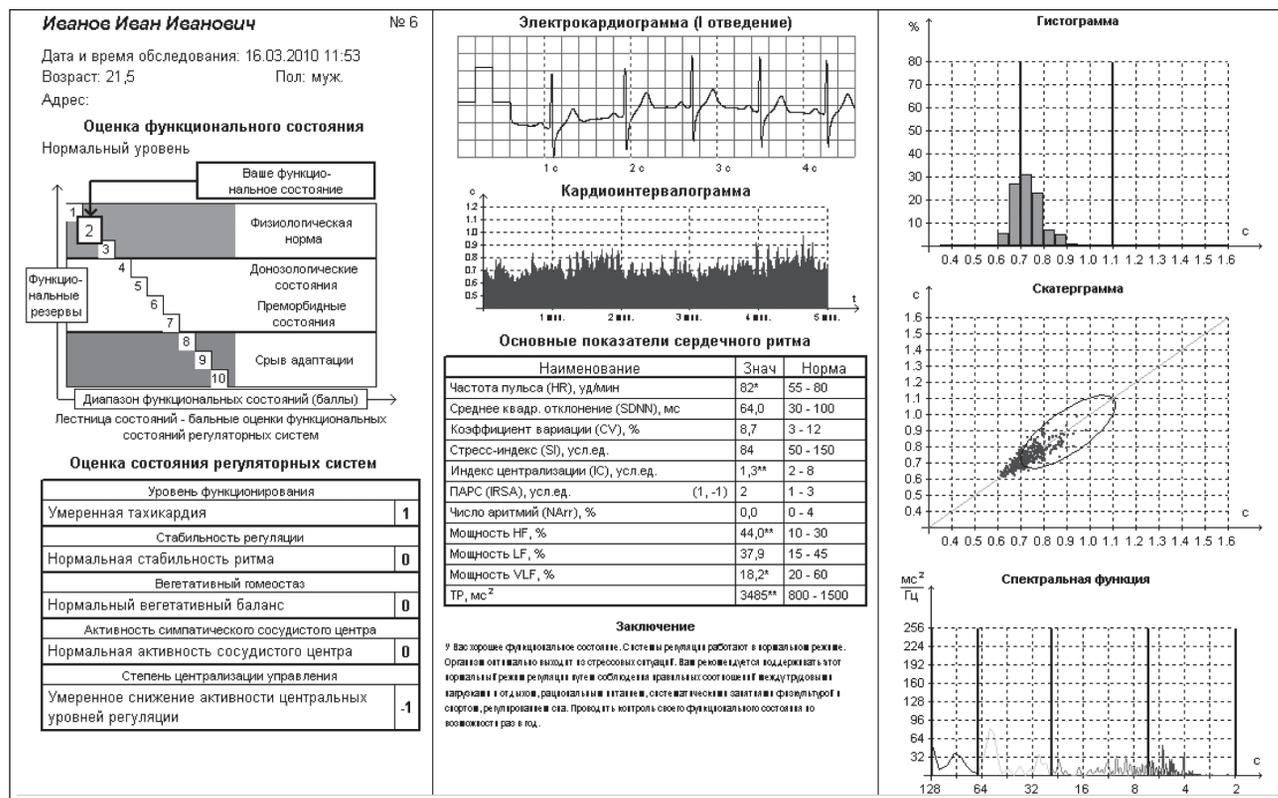


Рис. 2. Комплексное заключение по результатам анализа ВСР (аппаратно-программный комплекс «Варикард»)

Для оценки функционального состояния организма обучающегося из всех перечисленных параметров целесообразно использовать индекс напряженности регуляторных систем (ИН), индекс централизации (IC), спектральный анализ, а также комплексную оценку ВСР, которая может осуществляться по показателю активности регуляторных систем (ПАРС). ПАРС вычисляется в баллах по специальному алгоритму, учитывающему статистические показатели,

показатели гистограммы и данные спектрального анализа кардиоинтервалов. Он позволяет дифференцировать различные степени напряжения регуляторных систем. Это эффективный показатель в оценке адаптационных возможностей организма. На основании анализа значений ПАРС могут быть диагностированы следующие функциональные состояния: состояние нормы или состояние удовлетворительной адаптации; состояние функционального напряжения; состояние перенапряжения или состояние неудовлетворительной адаптации; состояние истощения регуляторных систем или срыв адаптации. На рис. 2 показаны результаты анализа сердечного ритма, которые получены с помощью комплекса «Варикард 2.51».

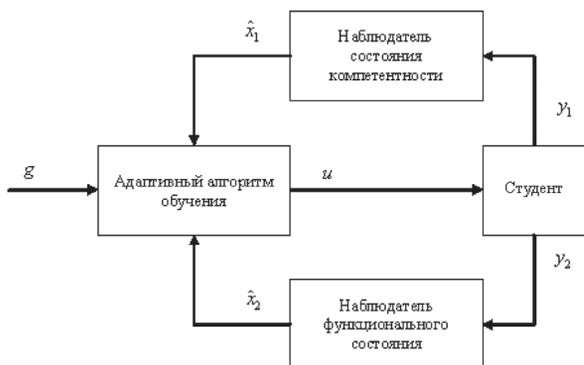


Рис. 3. Модель адаптивного электронного обучения

Комплекс «Варикард 2.51» обрабатывает кардиоинтервалограммы и анализирует ВСР. Измеряемые сигналы непрерывно передаются в электронную обучающую систему, которая осуществляет коррекцию основных параметров информационно-образовательной среды во время обучения и контроля уровня подготовки, обе-

спечивая оптимальный уровень напряжения организма студента [12].

Разрабатываемая модель формирования обучающего воздействия строится на основе методов теории адаптивного и нелинейного управления, использования искусственного интеллекта и теории принятия решений, теории человеко-машинных систем управления и компьютерных технологий обучения [13]. Модель электронного адаптивного обучения, учитывающая функциональное состояние студента, представлена на рис. 3.

В процессе работы студента в информационно-образовательной среде анализируются не только его ответы  $Y_1$ , но и вариабельность сердечного ритма  $Y_2$ . Сигналы  $Y_1$  и  $Y_2$  поступают на наблюдатели состояния компетентности и функционального состояния студента соответственно. В качестве наблюдателя функционального состояния выступает «Варикард 2.51». Наблюдатели формируют оценки состояния компетентности  $\hat{X}_1$  студента и его функционального состояния  $\hat{X}_2$ . Алгоритм обучения на основе переменных  $\hat{X}_1$  и  $\hat{X}_2$ , целевого множества компетенций  $\mathcal{G}$  и онтологии электронных учебных и контрольно-измерительных материалов формирует обучающее воздействие  $u$ .

Формируя обучающее воздействие, алгоритм обучения управляет траекториями обучения и контроля уровня подготовки, скоростью подачи материала и его сложностью, формой представления материалов и режимами работы системы в зависимости от функционального состояния студента и его уровня подготовки с целью оптимизации по времени процесса обучения. В качестве оценки эффективности системы электронного обучения используются критерии, отражающие «стоимость» достигнутого результата деятельности всей системы управления обучением для организма студента [14].

Разработка алгоритма адаптивного управления обучением требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований с целью построения адекватной модели обучения в различных режимах работы: получение и обработка информации, запоминание и осмысливание информации, поиск решения проблемы и ввод информации. При наличии адекватных математических моделей биологического звена замкнутой системы можно решать и

обратную задачу – разработку информационно-образовательной среды и электронных учебно-методических материалов для эффективного использования их в учебном процессе.

Наличие контура обратной связи существенно повышает гибкость и эффективность информационно-образовательной среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Болонский процесс: середина пути* / Под ред. В.И. Байденко. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов. Российский новый университет, 2005. – 379 с.
2. *Лисицына Л.С.* Теория и практика компетентностного обучения и аттестаций на основе сетевых информационных систем. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. – 147 с.
3. *Соловов А.В.* Дидактический анализ проблематики электронного обучения // Труды междунар. конф. «IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies». – Казань: КГТУ, 2002. – С. 212–216.
4. *Тархов С.В.* Адаптивное электронное обучение и оценка его эффективности // Открытое образование. – 2005. – № 5. – С. 37–48.
5. *Зайцева Л.В.* Методы и модели адаптации к учащимся в системах компьютерного обучения // Education Technology & Society. – 2003. – Vol. 6 (4). – P. 204–211.
6. *Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.М.* Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. – М.: Наука, 1984. – 221 с.
7. *Ахутин В.М.* Бионические аспекты синтеза биотехнических систем // Информационные материалы: Кибернетика. – 1976. – №4 (92). – С. 3–26.
8. *Биотехнические системы* / Под ред. В.М. Ахутина. – Л.: Изд-во Ленингр. Ун-та, 1981.
9. *Баевский Р.М.* Медико-физиологические аспекты ВСР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gamena.ru/page.php?18>, свободный.
10. *Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В. и др.* Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем // Вестник аритмологии. – 2001. – №24. – С. 65–86.
11. *Оценка уровня здоровья.* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gamena.ru/page.php?7>, свободный.
12. *Лоскутов Е.Д., Разыграева В.А.* Принципы построения автоматизированного адаптивного обучающего комплекса // Сборник научных трудов Сев-КавГТУ. Сер. Гуманитарные и социально-экономические науки. – Вып. 5. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2000. – С. 74–77.
13. *Лямин А.В., Разыграева В.А., Скушидлевский А.А.* Модель электронного адаптивного обучения с оценкой функционального состояния обучающегося // Матер. VIII Междунар. науч.-практ. конф.-выставки «Единая образовательная информационная среда: проблемы и пути развития». – Томск: Графика-Пресс, 2009. – С. 108–109.
14. *Лямин А.В., Разыграева В.А.* Анализ вариабельности сердечного ритма при педагогических измерениях в системе дистанционного обучения // Труды XVI Всерос. науч.-метод. конф. «Телематика' 2009». – СПб., 2009. – Т. 2. – С. 345–346.