

УДК 681.2; 615.47

БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Н. Б. Суворов,

доктор биол. наук, профессор

НИИ экспериментальной медицины Северо-Западного отделения РАМН

В. А. Абрамов,

инженер

А. В. Козаченко,

канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

Ю. З. Полонский,

доктор биол. наук, старший научный сотрудник

Институт мозга человека им. Н. П. Бехтеревой РАН

Разработана и испытана в реальных исследованиях биотехническая система для изучения психофизиологических механизмов напряженной интеллектуальной деятельности (во время игры в шахматы). Участвовали шахматисты высшей квалификации (коэффициент Эло ≥ 2300). При разработке решена главная задача: психофизиологические параметры играющего с шахматной программой синхронизированы с текущей позицией на шахматной доске.

Ключевые слова — интеллектуальная деятельность, психофизиологические параметры, шахматисты.

Введение

В настоящее время в медицинской диагностике, в задачах комплексной оценки функционального состояния человека в системах управления при минимальной физической нагрузке, в исследованиях умственной деятельности, при решении интеллектуальных операторских задач широко применяются биотехнические системы (БТС) различного назначения. Одним из наиболее трудоемких и ответственных процессов при диагностике, прогнозе текущего и последующего состояний является анализ и формулирование научно-практических выводов из комплекса психофизиологических показателей. Эффективность этого процесса зависит, в частности, от состава БТС и объема аналитических возможностей. Аппаратно-программные средства обеспечивают быструю и достоверную переработку больших объемов научной информации, получаемой в исследовании.

Использование различных средств и методов анализа, реализуемых электронными устройствами, позволяет существенно расширить пре-

делы медицинского и психофизиологического обследования и заметно уменьшить вероятность ошибки при оценке состояния оператора в реальном времени. Наибольшее распространение имеют биотехнические системы, включающие такие аппаратно-программные средства, как тренажеры, имитаторы пультов управления и др., моделирующие ту или иную деятельность, связанную с различными манипуляциями, зрительно-моторным слежением, наблюдением за информационными табло, приводящим в свою очередь к состояниям монотонии и опасности засыпания и т. п. [1]. БТС для исследования умственных нагрузок также используют модельные ситуации — от простых арифметических или алгебраических задач до достаточно сложных тестов на распознавание образов в условиях действия помех, решения логических или творческих задач, предъявляемых испытуемому. Однако в настоящее время практически нет технических средств, направленных на изучение психофизиологических характеристик человека во время реальной интеллектуальной деятельности, а не на модели последней.

Целью работы являлась разработка и испытание БТС для изучения психофизиологических механизмов напряженной интеллектуальной деятельности. Реализация этой цели потребовала выбора аппаратуры и программного обеспечения; разработки структуры БТС и алгоритма ее работы; синхронизации психофизиологических параметров с шахматной партией; испытания в реальных исследованиях с шахматистами высшей квалификации.

Методические подходы, реализованные в биотехнической системе

Интеллектуальная деятельность человека является одной из его специфических особенностей и наиболее сложно организованных психических функций. Инструментальные исследования в изложенной постановке ранее не проводились, поэтому разработанный комплекс является в своем роде уникальным. Под напряженной интеллектуальной деятельностью подразумевается реальная шахматная игра с современной компьютерной программой. В исследованиях участвовали молодые шахматисты высокой квалификации г. Санкт-Петербурга — элитные гроссмейстеры, мастера спорта с высоким рейтингом Эло. Профессионализм участников позволил проводить шахматные партии вслепую с закрытыми глазами, что дало возможность минимизировать помехи при регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ — 21 канал), электрокардиограммы (ЭКГ с предплечий), кардиоритмограммы (КРГ). Подобную совокупную регистрацию комплекса электрофизиологических параметров обеспечивает электроэнцефалограф «Мицар — ЭЭГ—202 (24+8)», имеющий полосу пропускания от 0 (DC) до 150 Гц и диапазон измерений до 300 мВ (разработчик и производитель ООО «Мицар», Санкт-Петербург, сертификат соответствия № РОСС RU.ИМ17.В00017). Помимо этого фиксировались функция дыхания — пневмограмма (ПГ) и голоса шахматиста, сообщающего свой ход, и «транслятора», сообщающего ход, сделанный шахматной программой (использовались штатный датчик дыхания и специальные микрофоны фирмы Panasonic). Проводилось также психологическое тестирование (тест Люшера).

Шахматная программа, используемая в описываемой БТС, должна быть адекватна мастерству участвующих шахматистов или превосходить их. Для синхронизации и сопоставления шахматной партии с психофизиологическими характеристиками в каждый момент времени необходимо знать, сколько времени потрачено на каждый ход в отдельности и полный протокол партии, из которого известно, сколько времени прошло от начала пар-

тии до конкретного хода. Перечисленным условиям удовлетворяет программа Deep Fritz 11 4CPU [2, 3]. В ней предусмотрена гибкая система задания контроля времени, диапазон по рейтингу 900–3000 (максимальный рейтинг Эло участвовавших шахматистов составлял 2711), поэтому шахматную квалификацию программы можно варьировать — равные силы, незначительно сильнее или слабее, намного сильнее или слабее шахматиста. Некоторая коррекция возможна также путем изменения контроля времени в ту или иную сторону. Протокол партии программы Fritz 11 оказался неприемлемым для временной оценки сделанных ходов, поэтому была написана дополнительная программа, которая демонстрировала время, затраченное на ход и накопленное от начала партии. Минимальные системные требования: Pentium II 300 МГц, RAM 64 Мб, 1,5 Гб свободного места на жестком диске, Windows 2000/XP/Vista.

Описание биотехнической системы

В состав разработанной БТС входят следующие основные блоки.

Главный компьютер — для синхронного отображения на мониторе в реальном времени всех происходящих «событий».

В качестве блока регистрации использовали электроэнцефалограф «Мицар — ЭЭГ—202 (24+8)». ЭЭГ регистрировалась электродами, расположенными на голове испытуемого. Сигналы ЭЭГ от блока усилителей в цифровой форме через гальваническую развязку поступают в главный компьютер и отображаются на экране монитора.

Электрокардиограмма регистрировалась через один из полиграфических каналов электроэнцефалографа. Электрокардиосигнал отображается на том же мониторе.

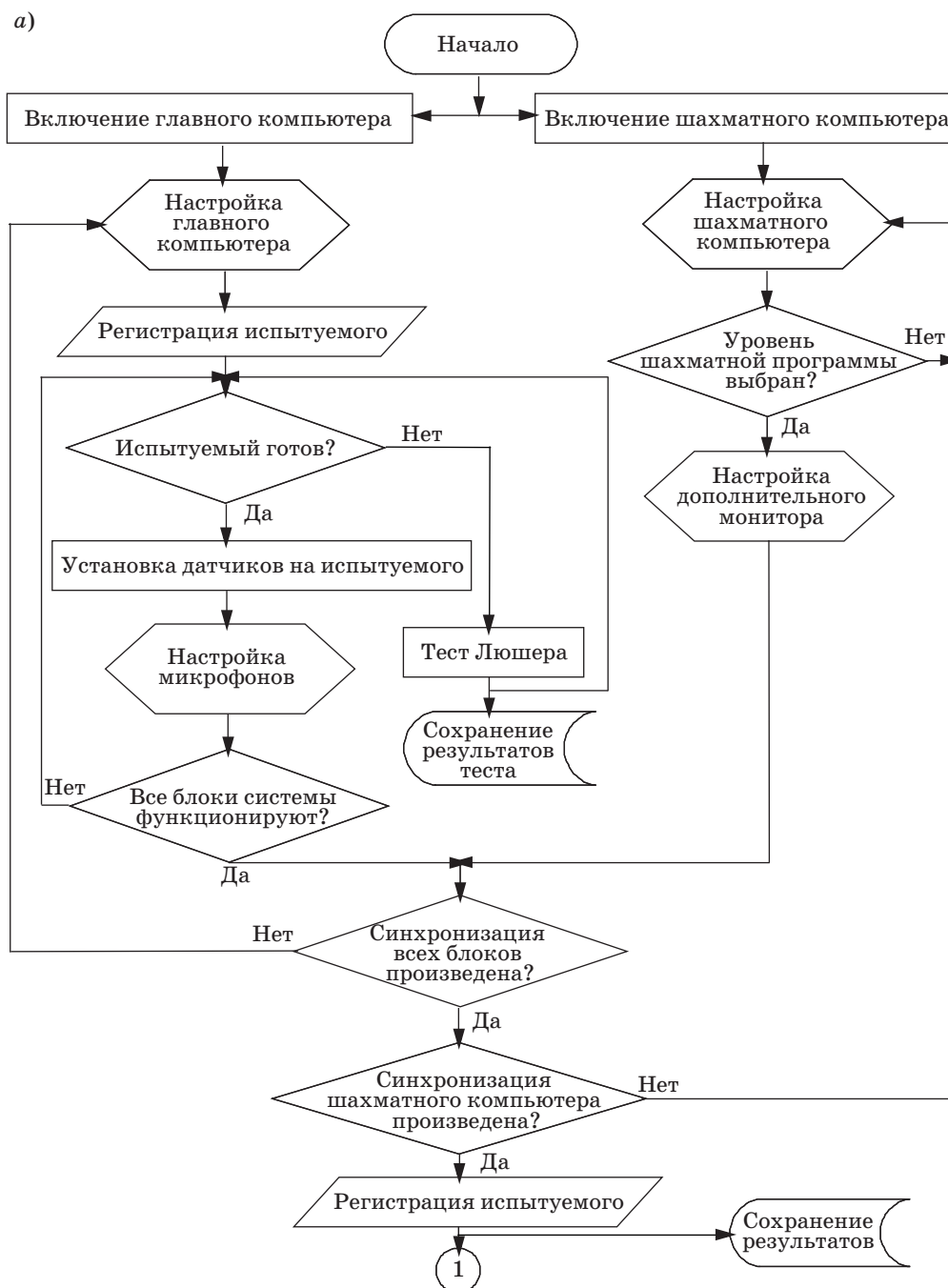
Дыхание — ПГ регистрировалась с помощью носового (назального) терморезисторного датчика, подсоединяемого через один из полиграфических каналов с отображением на экране.

Аудиосигналы от микрофонов «транслятора» и испытуемого через полиграфические каналы в виде меток также выносятся на монитор вместе с остальными параметрами.

В состав БТС входит также блок обработки информации, созданный на базе программных комплексов WinEEG, WinHRV.

Шахматный компьютер.

Фотостимулятор — прибор, генерирующий световые сигналы с заданными параметрами (интенсивностью, длительностью, частотой и т. п.) для воздействия на зрительный анализатор. Светодиодный фотостимулятор способен генерировать частоту фотостимуляции от 1 до 50 вспышек/с с шагом 1 вспышка/с.



■ Рис. 1. Блок-схема проведения испытаний биотехнической системы: а — подготовительный этап;

Испытуемый — профессиональный шахматист, способный вести партию вслепую на высоком уровне.

«Транслятор» — опытный шахматист, обеспечивающий передачу информации между игроком и шахматным компьютером, умеющий обращаться с шахматной программой, понимать шахматную нотацию, быстро и четко передавать ходы, сделанные компьютером, и вводить в ком-

пьютер ходы, сделанные игроком, с минимальной задержкой. От «транслятора» зависит величина отставания видеоизображения от остальных электрофизиологических параметров на мониторе.

Дополнительный монитор подключен на шахматный компьютер, обеспечивает необходимое экранное разрешение для визуализации шахматной партии.



б — этапы измерений и завершения исследования

Видеокамера направлена на дополнительный монитор, служит для передачи шахматной позиции на монитор главного компьютера, обеспечивает синхронизацию психофизиологических параметров и шахматной партии. Видеоизображение шахматной доски с текущей позицией воспроизводится синхронно с выводом на экран монитора соответствующих участков всех регистрируемых параметров испытуемого или может быть отключено.

Испытания БТС состояли из трех этапов (рис. 1, а, б).

Последовательность действий на подготовительном этапе.

Настройка главного и шахматного компьютеров.

Настройка шахматной силы программы Deep Fritz 11. В зависимости от задачи это: выбор ее силы, выбор контроля времени программы и ис-

пытуемого. В связи с тем, что игра проходила вслепую, необходимо было компенсировать время, уходящее на устные сообщения между шахматным компьютером и игроком. Поэтому было принято решение добавлять игроку несколько секунд после каждого хода. Кроме того, в настройках программы предусмотрена возможность получить играющим преимущество во времени (гандикап).

Подсоединение к шахматному компьютеру дополнительного монитора для визуализации шахматной партии через видеоканал (настраивается фокус, угол наклона камеры). Это необходимо для синхронизации позиции и психофизиологических параметров.

Регистрация главных персональных данных испытуемого (шахматиста).

Оценка текущего психологического состояния испытуемого. Цветовая диагностика Люшера позволяет измерить стрессоустойчивость, активность, коммуникативные способности и другие характеристики на момент проведения теста.

Установка датчиков на испытуемого, проверка качества их установки. На протяжении всего исследования игрок сидел в удобном кресле, позволявшем ему полностью расслабиться.

Настройка чувствительности и частотных фильтров электроэнцефалографа и полиграфических каналов.

Настройка микрофонов игрока и «транслятора».

Последовательная проверка всех блоков системы.

Синхронизация отдельных блоков. Она занимает важное место в данном исследовании. Необходимо представить на мониторе главного компьютера одномоментные показания ЭЭГ, ЭКГ, ПГ, сигналов микрофонов, видеоизображения и др. При полной синхронизации перечисленных параметров можно начинать исследование.

Последовательность действий во время основного этапа (этапа измерений).

Регистрация исходных (фоновых) психофизиологических показателей перед партией для их последующего сравнения во время партии, после партии и т. д.

Проведение перед партией стандартных для электрофизиологического исследования тестов — фотостимуляция и дыхательная нагрузка.

Измерение артериального давления (АД) перед партией.

Регистрация психофизиологических показателей во время партии — самая продолжительная часть исследования.

Фоновая запись при открытых и закрытых глазах после игры.

Измерение АД после партии.

Последовательность действий на этапе завершения исследования и анализа данных.

Сохранение (архивирование) всех данных, включая шахматную партию, и представление ее в нужном формате.

Отключение всех датчиков. Отключение всех блоков.

Анализ шахматной партии и выявление наиболее важных моментов для сопоставления с соответствующими фрагментами комплекса психофизиологических параметров.

Обработка данных и заключение по результатам испытаний БТС.

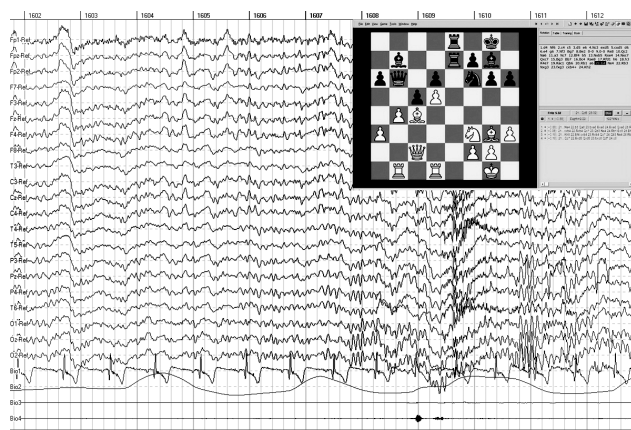
Фрагмент записи полного комплекса регистрируемых показателей на мониторе главного компьютера представлен на рис. 2.

Биотехническая система позволяет анализировать электрокардиосигнал путем построения КРГ. В анализ входит: построение гистограмм распределения RR-интервалов, скаттерограмм, спектров мощности и вычисление ряда производных параметров. Часть расчетных параметров сведена в таблицу.

Из таблицы видно, что большая часть параметров во время принятия решения на 699-й секунде после начала партии не изменилась по сравнению с 341-й секундой (начало обдумывания). Исключение — спектральные характеристики.

Изменения ЭЭГ во время шахматной партии демонстрирует рис. 3, а, б.

Анализ фрагментов рис. 3 показывает, что спектральная мощность системообразующего альфа-ритма частотой около 9 Гц на фрагментах А (фон) в 2,5 раза выше, чем во время принятия



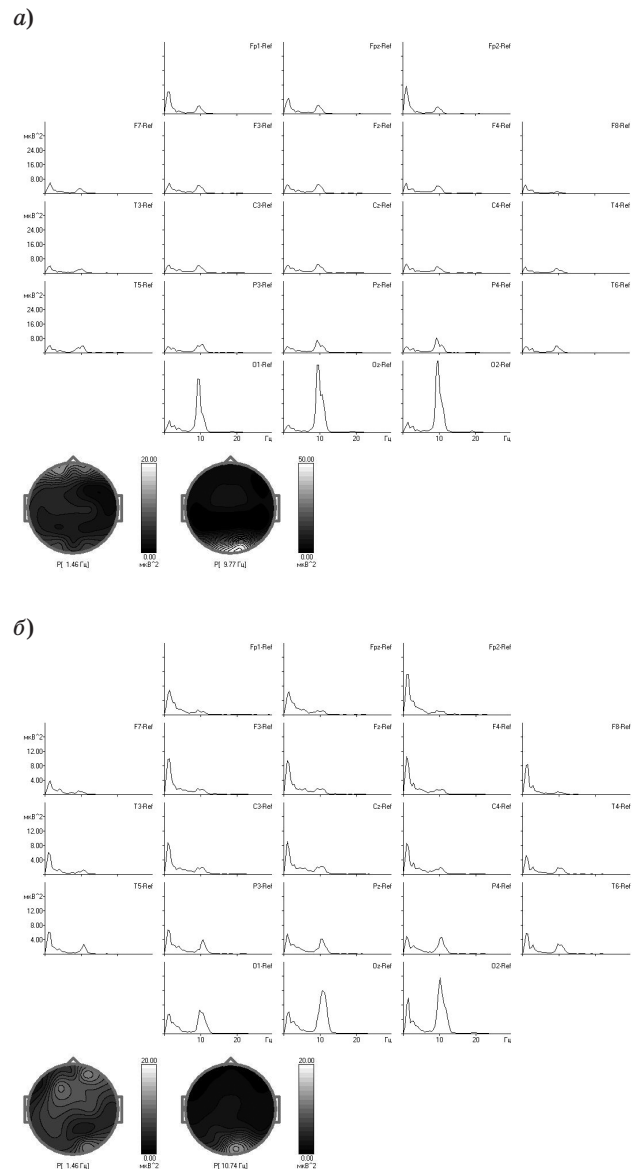
■ Рис. 2. Электроэнцефалограмма (21 канал) мастера ФИДЕ А. во время обдумывания и принятия решения о 21-м ходе белых b4 (1609-я секунда партии): Bio1 — ЭКГ; Bio2 — кривая дыхания; Bio3 — отметка сообщения «транслятора» о ходе, сделанном программой; Bio4 — отметка сообщения шахматиста о сделанном ходе

Расчетный параметр	341-я секунда	699-я секунда
SDNN, мс	51,7	49,5
pNN50, %	2,3	2,2
M, мс	710	707
ЧСС, уд/мин	84	85
CV, %	7,28	7,00
RRmin, мс	604	606
RRmax, мс	834	856
MODE, с	0,70	0,70
AMO, %	36,2	37,5
X, с	0,23	0,25
ИВР, %/с	157,2	150,0
ИН, %/с ²	112,3	107,1
Total, мс ²	1493	1454
LF, мс ²	1040	654
LFnorm, %	83,6	80,6
HF, мс ²	204	158
HFnorm, %	16,4	19,4
LF/HF	5,10	4,14
N	213	224

SDNN — стандартное отклонение RR-интервалов;
 PNN50 — число соседних пар RR-интервалов, отличающихся более чем на 50 мс;
 M — средняя длительность RR-интервалов;
 ЧСС — частота сердечных сокращений;
 CV — коэффициент вариальности;
 RRmin — минимальное значение RR-интервала;
 RRmax — максимальное значение RR-интервала;
 MODE — мода распределения RR-интервалов;
 AMO — амплитуда моды;
 X — вариационный размах (RRmax — RRmin);
 ИВР — индекс вегетативного равновесия;
 ИН — индекс напряжения регуляторных систем;
 Total — мощность колебаний RR-интервалов в диапазоне 0,003–0,4 Гц;
 LF — мощность медленных колебаний RR-интервалов 0,04–0,15 Гц;
 LFnorm — нормированная мощность медленных колебаний RR-интервалов;
 HF — мощность быстрых колебаний RR-интервалов 0,15–0,4 Гц;
 HFnorm — нормированная мощность быстрых колебаний RR-интервалов;
 LF/HF — отношение LF к HF;
 N — число RR-интервалов.

решения после обдумывания хода (Б), его частота на этих фрагментах превышает 10 Гц — свидетельство умственного напряжения.

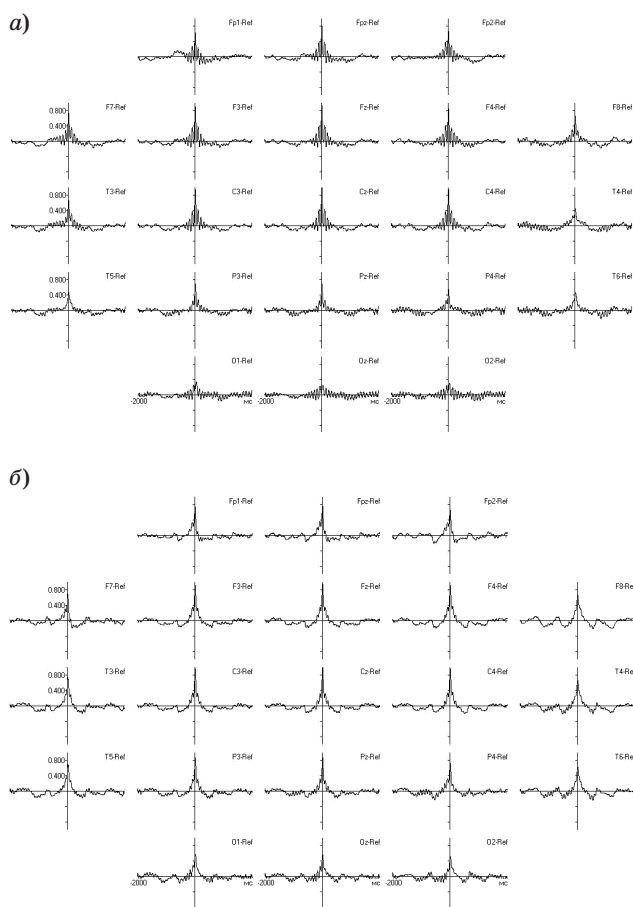
Кросскоррелограммы (рис. 4) демонстрируют наличие организованной ритмической (альфа-ритм) ЭЭГ в фоновом состоянии (рис. 4, а) и значительное изменение ритмической структуры ЭЭГ перед принятием решения в пользу медлен-



■ **Рис. 3.** Спектры мощности ЭЭГ на разных этапах исследования: а — расслабленное бодрствование, глаза закрыты (фон до партии); б — непосредственно перед 13-м ходом после 11-минутного обдумывания (принятие решения). На графиках спектров по абсциссе — частота колебаний ЭЭГ, по ординате — мощность. На топограммах слева — распределение 1-й и 2-й гармоник по поверхности мозга, справа — шкала спектральной мощности

ных дельта- и тета-ритмов (рис. 4, б). Последний, возникающий при разнообразных нагрузочных пробах, часто называют ритмом напряжения.

Изложенные выше далеко не полные психофизиологические данные, полученные с помощью разработанной биотехнической системы, являются коррелятами интеллектуальной деятельности и инструментом для специалистов в обла-



■ **Рис. 4.** Кросскоррелограммы отведений ЭЭГ: а и б соответствуют тем же фрагментам ЭЭГ, что и на рис. 3, а, б

сти психонейрофизиологии для изучения тонких механизмов активных мыслительных процессов. В данной статье не приведены КРГ, функции когерентности в графическом и топографическом отображении, авто- и кросскорреляционные функции, диаграммы пространственно-временного взаимодействия 21 структуры головного мозга, координаты максимальной плотности распределения мозговых источников токов, взаимодействие КРГ и функций дыхания, не рассмотрены индивидуальные особенности шахматного творчества нескольких гроссмейстеров и мастеров Санкт-Петербурга и др.

Заключение

Разработан комплекс, предназначенный для регистрации и количественной оценки ряда психофизиологических характеристик шахматистов высшей квалификации во время игры в шахматы с использованием шахматной программы. Разработанная БТС испытана в качестве инстру-

мента для психофизиологических исследований механизмов напряженной интеллектуальной деятельности. В соответствии с целью и задачами решена проблема синхронизации всех этапов и элементов системы — текущая позиция на шахматной доске в любой момент времени соответствует временному срезу психофизиологических параметров. Динамика обдумывания, принятия решений, осознанные и неосознанные ошибки, просмотры и т. п. характеризуются комплексом этих параметров, на основании которых специалисты в состоянии сделать определенные выводы. Проведены испытания БТС в реальных электро- и психофизиологических исследованиях шахматистов высшей квалификации.

Результаты, получаемые с помощью разработанной БТС, дают возможность до ответственных турниров оценить состояние шахматиста, функциональный резерв (его уровень готовности), после — понять степень утомления и определить время и мероприятия, необходимые для восстановления. Кроме того, специальный интерес представляют психофизиологические реакции шахматиста на ошибочные тактические и стратегические решения, цейтнот, «зевки» и т. п.

Научные результаты, полученные на разработанном и испытанном комплексе, могут иметь большое значение для нейрофизиологов, занимающихся изучением нераскрытых психофизиологических механизмов интеллектуальной деятельности, а также для специалистов в области искусственного интеллекта.

Перспективы развития комплекса: разработка системы безманжетной регистрации АД позволит проводить непрерывный на протяжении всего исследования контроль АД, полученные данные будут синхронно отображаться вместе с остальными параметрами; для обеспечения возможности игры с открытыми глазами необходимо разработать комплекс программных средств для подавления помех при открытых глазах и движениях рук; замена шахматной игры моделью любого другого вида деятельности делает разработанную БТС универсальной: она может использоваться для исследования текущего и «рабочего» функционального состояния операторов информационных систем управления, диспетчеров управления воздушным движением, операторов различных транспортных средств, военной техники и т. д. Результаты подобных работ необходимы для оперативного отбора и прогноза качества деятельности человека в системе управления.

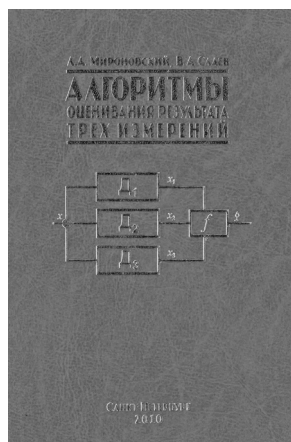
Биотехническая система внедрена и используется в исследованиях лаборатории нейроэкологии НИИ экспериментальной медицины РАМН и лаборатории стереотаксических методов Института мозга человека им. Н. П. Бехтеревой РАН.

Исследования поддержаны грантом научной программы Санкт-Петербургского научного центра РАН «Исследование возможностей психофизиологической поддержки лиц, занятых непре-

рывной напряженной интеллектуальной деятельностью — шахматистов высшей квалификации» за 2009 год и выполнялись при содействии шахматной федерации Санкт-Петербурга.

Литература

1. Суворов Н. Б., Мясников А. В., Попечителев Е. П. Аппаратная часть биотехнического комплекса для исследования кардиореспираторного взаимодействия // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Биотехнические системы в медицине и экологии. 2004. Вып. 2. С. 38–42.
2. Fritz 11: Обзор статей об игре Fritz 11. <http://gameguru.ru/articles/525/view.html> (дата обращения: 17.01.2010).
3. Chessmaster: Grandmaster Edition / Chessmaster 11: Grandmaster Edition. <http://tav.su/9046-chessmaster-grandmaster-edition-akella.html> (дата обращения: 17.01.2010).



Мироновский Л. А., Слаев В. А. Алгоритмы оценивания результата трех измерений. — СПб.: «Профессионал», 2010. — 192 с.: ил. ISBN 978-5-91259-041-2, УДК 389.

Монография состоит из пяти глав и трех приложений. В ней собраны, классифицированы и проанализированы алгоритмы оценивания, направленные на решение «задачи о трех измерениях».

В Главе I приведена классификация погрешностей измерений, а также методов оценивания, оптимизирующих выбранные критерии. Эти методы по виду критериев подразделяются на вероятностные, детерминированные, эвристические и диагностические. Описаны классические средние оценки и их свойства.

Глава II посвящена вероятностному и детерминированному подходам к оцениванию. В ней рассмотрены оценки максимального правдоподобия, марковские, байесовские, квадратические, модульные и степенные оценки, а также оценки, оптимизирующие составные и комбинированные критерии.

Глава III описывает принципы эвристического оценивания, основанные на математическом определении средних величин по Коши и Колмогорову. На этом пути строятся классические средние, линейные, квазилинейные, а также разностные квазилинейные и нелинейные оценки.

В Главе IV рассматриваются диагностические методы получения оценок, основанные на применении алгебраических инвариантов. Наличие алгебраических инвариантов позволяет осуществить отбраковку искаженных измерений методами технической диагностики по минимальному или максимальному расхождению. Алгоритмы оценивания скалярной величины по трем измерениям сведены в таблицу, в которой отражено более семидесяти различных оценок.

Глава V касается применения средних оценок для фильтрации сигналов. Охарактеризован принцип использования «гладкости» сигналов для борьбы с погрешностями, применение которого приводит к фильтрам с конечной памятью. Описаны медианные и диагностические фильтры, приведен пример фильтрации навигационной информации.

В Приложения вынесены современная терминология по характеристикам точности, соотношение между неопределенностями и характеристиками погрешности, а также статистические свойства получаемых оценок.

Для метрологов, приборостроителей и разработчиков алгоритмов, реализуемых в программно управляемых средствах измерений, а также для экспертов, осуществляющих их аттестацию. Может быть полезна студентам и аспирантам технических вузов.

Книгу можно приобрести за наличный и безналичный расчет во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева: 190005, Санкт-Петербург, Московский пр., 19; контактный телефон +7 (812) 323-93-79; e-mail: abl@bi10.vniim.ru, Любомиров Андрей Борисович. Цена экземпляра 413 руб.