

СТАТЬИ

УДК 57:612.821

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ
БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ**

¹Дадашев Ф.Г., ²Аллахвердиев А.Р., ²Дадашева К.Г., ¹Асадов Э.З.

¹Национальная академия авиации, Баку, e-mail: dfh54@rambler.ru;

²Институт физиологии имени А.И. Караева, Баку, e-mail: ali_doctor@mail.ru

В данной статье нашли отражение перспективные направления разных областей, опирающиеся на концептуальные основы БОС методики. Учитывая результаты практики применения БОС методики в клиническом исследовании, при оптимизации психофизиологического состояния человека, а также результаты управляемых экспериментов над животными, представлен комплекс современных интеллектуальных технологий. Для оптимизации биотехнических систем, обеспечивающих реализацию мультипараметрической БОС, предлагается синергетический подход, позволяющий максимально использовать функциональный ресурс человека. Интеллектуализация самоорганизации биотехнической системы является одним из подходов к усовершенствованию адаптивных управлений, учитывающей функциональные ресурсы человека. Обоснована целесообразность включения в программное обеспечение комплекса процедур принятия решения в условиях неопределенностей, реализующей мультипараметрическую БОС. Целевая задача биотехнической системы формируется в виде многокритериальной задачи. При этом каждый критерий определяется в виде «желаемого состояния», соответствующего отдельным управляемым параметрам. При таком подходе глобальные задачи биотехнической системы будут представлять себя в виде многокритериальных задач в многомерном пространстве. С функциональной точки зрения иерархическая биотехническая система требует децентрализации общей интеллектуальности системы. В каждой конкретной ситуации при применении мультипараметрической БОС решаются такие задачи, как распределение интеллектуальности между подсистемами, в частном случае как распределение функций между датчиками и интерфейсом.

Ключевые слова: мультипараметрический БОС, психофизиологическое состояние, электрофизиологические данные, биометрические системы, синергетический подход, интеллектуальные технологии

**PROSPECTS FOR THE APPLICATION
OF MULTIPARAMETRIC BIOLOGICAL FEEDBACK**

¹Dadashev F.G., ²Allakhverdiev A.R., ²Dadasheva K.G., ¹Asadov E.Z.

¹National Academy of Aviation, Baku, e-mail: dfh54@rambler.ru;

²A.I. Karaev Institute of Physiology, Baku, e-mail: ali_doctor@mail.ru

This article reflects the promising directions of various fields, based on the conceptual foundations of the biological feedback (BFB) methodology. Considering the results of the practice of using BFB methodology as a clinical study to optimize the psychophysiological state of humans, as well as the results of controlled experiments on animals, a complex of modern intelligent technologies is presented. Optimization of biotechnical systems, providing for the implementation of multiparametric BFB, is proposed by a synergistic approach that maximally utilizes the functional resource of humans. The intellectualization of self-organization of biotechnical systems is one of the approaches to improving adaptive control, taking into account the functional resources of humans. The feasibility of including decision-making procedures in conditions of uncertainty in the software that implements multiparametric BFB is justified. The target task of the biotechnical system is formed as a multi-criteria problem. In this case, each criterion is defined as a “desired state” corresponding to individual controlled parameters. With this approach, the global tasks of the biotechnical system will be represented as multi-criteria problems in a multidimensional space. From a functional point of view, the hierarchical biotechnical system requires the decentralization of the system’s overall intelligence. In the specific application of multiparametric BFB, the distribution of intelligence between sensors and interfaces is resolved in a particular situation.

Keywords: multiparametric BFB, psychophysiological state, electrophysiological data, biometric systems, synergistic approach, intelligent technologies

Данная статья посвящена развитию методики мультипараметрической биологической обратной связи (БОС), опирающейся на различные концептуальные, технологические, методологические основы [1–3]. Метод БОС был разработан американским ученым Н. Миллером на основе его экспериментальных и клинических работ по изучению висцерального обучения с помощью метода оперантного обусловливания [4]. В начальные годы данный подход исполь-

зовался при изучении глубоких физиологических механизмов процесса самоорганизации. После этого данный подход нашел свое применение в других практических областях, в том числе в клинических и психокоррекционных практиках. Эффективность полученных результатов в прикладной области, способствовала доминированию клинических результатов над теоретическими фундаментальными исследованиями [5, 6]. Для повышения эффективности управления

функциональными состояниями целесообразно использовать комплекс инновационных технологий, таких как технологии искусственного интеллекта, и методы, опирающиеся на синергетическую методологию.

Целью данного исследования является обоснование и перспективы использования интеллектуальных технологий и синергетических принципов при применении мультипараметрической БОС для решения различных задач, в том числе для проведения психофизиологических коррекционных процедур и обучения.

Материалы и методы исследования

Мультипараметрическая БОС

На начальном этапе применения БОС методики для управления состоянием, в качестве информативного управляемого параметра, исследователями были выбраны отдельные статистические показатели электрофизиологических сигналов. Результаты многочисленных исследований по управлению состоянием посредством монопараметрической БОС методики (по α -ритму мозга, ЧСС, КГР и др.) показал, что для оптимизации состояния необходимо применение мультипараметрической БОС. С другой стороны, в связи с неопределенностью взаимодействия отдельных показателей, как внутри одной функциональной системы, так и в межсистемных взаимоотношениях, возникла необходимость использовать мультипараметрическую БОС. Отсутствие единой концептуальной основы применения БОС

вынуждает использовать различные эвристические подходы.

В таблице представлена классификация мультипараметрической БОС по различным критериям.

В настоящее время целью применения БОС методики является реализация решения таких задач, как идентификация, прогнозирование, психокоррекция, обучение. Н.Н. Василевским, С.И. Сороко и др., являющимися последователями ведущей экологической школы физиологии Д.А. Бирюкова, основана советская школа адаптивного биоуправления [7, 8]. Последователями этой школы с применением БОС методики, под влиянием экстремальных факторов внешней среды, всесторонне исследованы нейродинамические основы функциональной самоорганизации нейродинамических процессов, связанные с функциональной пластичностью.

Теоретической концептуальной ценностью результатов этой школы является получение закономерностей, связывающих вышеуказанные четыре цели применения БОС методики.

Проведение научно-практических работ с включением нескольких параметров в методику БОС можно считать новым этапом развития этой методики. БОС методика развивается в нескольких направлениях, в связи с выбранными критериями:

а) мультипараметричность – определяется по количеству информативных показателей, на основе чего идентифицируется управляемое состояние [9];

Критерии мультипараметрической БОС методики

Критерии	
По количеству управляемых параметров	– Монопараметрическая – Мультипараметрическая
Мультипараметрические	– Фиксированное соотношение между параметрами – Поэтапное определение соотношения отдельных параметров
Концептуальные основы	– Классические – Плацебо модель – Когнитивная модель – Модель, предложенная М.С. Шварцем
Модальность	– Звуковая – Тактильная – Зрительная
Алгоритм	– Адаптивное управление – Программное управление
Цели проведения	– Идентификация – Прогнозирование – Коррекционные процедуры – Обучение
Области применения	– Клинические работы – Спортивная физиология – Оптимизация состояния человека-оператора

б) модальность – определяется по типам различных сигналов для представления информации обратной связи, таких как зрительные, звуковые, тактильные и др. Одним из перспективных направлений является использование для сигналов обратной афферентации мультимедийных технологий.

Компонентами вектора, определяющими текущее состояние, входящими в целевую функцию биотехнической системы (БТС), могут стать разные статистические показатели конкретного электрофизиологического сигнала. Или же определяющее состояние может образоваться из показателей, принадлежащих к различным подсистемам в иерархической структуре целостного организма. Например, ЭЭГ, параметры кардиоваскулярной системы и т.д.

Синергетический подход позволяет дополнить отсутствие унифицированных концептуальных основ мультипараметрической БОС методики [10]. Данный подход является более универсальным, в сравнении с такими моделями, которые учитывают функциональные ресурсы испытуемого человека (когнитивный подход), а также эффект плацебо (позитивная установка), которая может быть базой «интеллектуального тренажера», способствующей обеспечению оптимизации функционального состояния.

Синергетические принципы при мультипараметрической БОС методике целесообразно применять при проектировании БТС, максимально используя ресурсы (как технические, так биологические), а также при функционировании, которые позволяют выявить алгоритмы механизмов самоорганизации при поэтапном обучении.

Интеллектуальные технологии в БОС методике

Использование интеллектуальных технологий [11], опирающихся на синергетические принципы, позволяет максимально приблизиться к цели БТС, задачей которой является оптимизация состояния человека.

Интеллектуализация самоорганизации БТС является одним из подходов к усовершенствованию адаптивного управления, учитывающим функциональные ресурсы человека. Таким образом, предложенная система выполняет экспертную функцию [12]. Целесообразно включить комплекс процедур принятия решений в условиях неопределенностей в программное обеспечение, которое реализует мультипараметрическую БОС, являющуюся целевой задачей БТС, формирующейся в виде многокритериальной задачи. При этом каждый критерий определяется в виде «желаемого

состояния», соответствующего отдельным управляемым параметрам. При таком подходе глобальная задача БТС будет представлять себя в виде многокритериальных задач в многомерном пространстве. При проектировании БТС с функциональной точки зрения требуется децентрализации общей интеллектуальности системы.

При использовании интеллектуальных технологий к процедурам мультипараметрической БОС, требуется решение задач адекватным распределением интеллектуальности между датчиками и интерфейсом [13]. На рис. 1 представлена структурно-функциональная система, обеспечивающая управление нейродинамическими процессами.

Алгоритм управления функциональным состоянием можно представить как иерархический процесс, состоящий из двух уровней (рис. 2). На низком уровне происходит реализация алгоритма управления, цель которого определяется как на основе информации о результате предыдущего этапа, так и информации о самонастройке, происходящего на верхнем уровне. Таким образом, применение синергетических принципов к мультипараметрической БОС методике является перспективным как для получения эффективного результата с учетом индивидуальных характеристик человека, так и для выявления закономерностей, связанных с механизмами самоорганизации при функциональном биоуправлении.

Результаты исследования и их обсуждение

Научно-исследовательские работы С.И. Сороко и др. могут быть качественным примером применения БОС методики для решения задачи идентификации. В качестве идентификации можно представить результаты работы по управлению отдельными ритмами мозга, в частном случае α -ритма мозга, где по степени управляемости можно классифицировать типы лиц человека. В работе С.И. Сороко выявлены три типа нервной системы, которые связаны с функциональной пластичностью нейродинамического процесса. Опираясь на концепцию экологической физиологии Бирюкова-Василевского и результаты проведенных под руководством С.И. Сороко экспериментов в Антарктиде, можно прогнозировать степень надежности к экстремальным ситуациям человека по типологии функции пластичности, определяемой по степени управляемости α -ритма мозга.

Вышеуказанный подход нами использован для прогнозирования состояния экипажа летного состава.

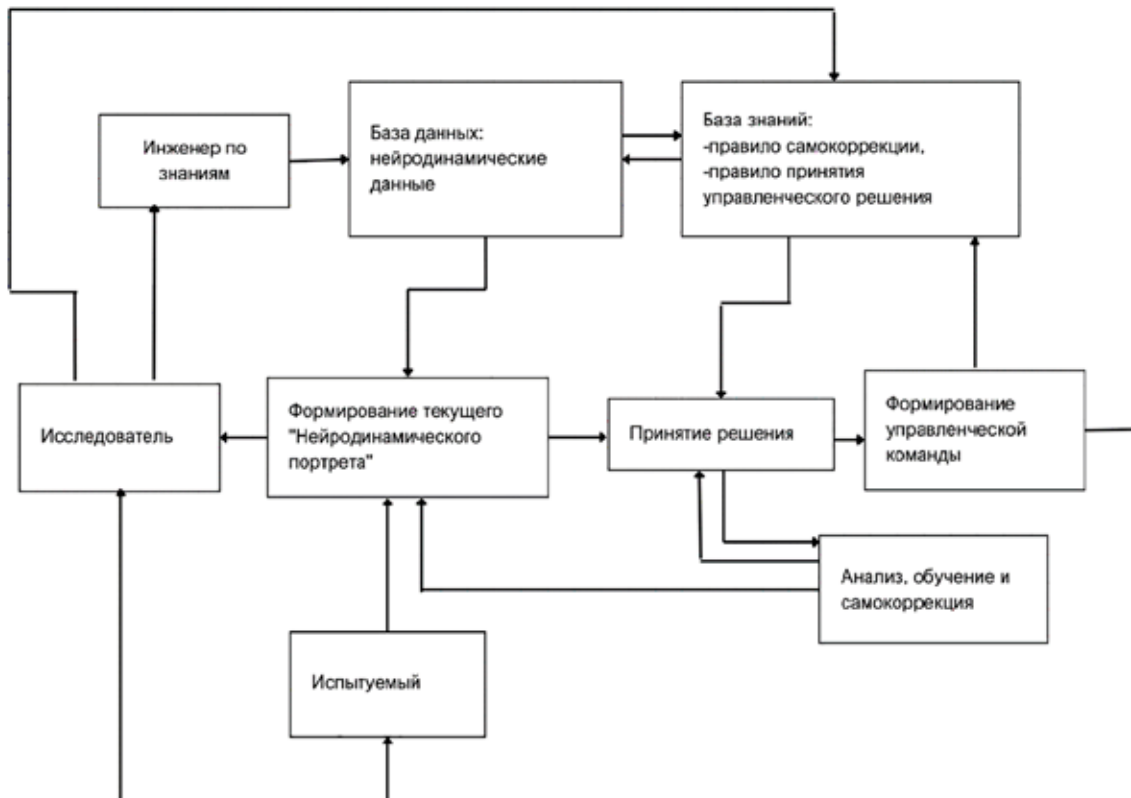


Рис. 1. Структурно-функциональная система управления нейродинамическими процессами



Рис. 2. Двухуровневый алгоритм управления посредством БОС методики

По результатам данных работ выявлены закономерности между управляемостью α -ритма мозга со степенью адаптации, а также имеется соответствие с динамической моделью нейродинамических состояний, определяемой между вероятностно-детерминированными взаимоотношениями отдельных основных ритмов мозга. Результаты исследования в данном направлении показали, что между вероятностно-детерминированной организацией имеется статистически достоверное соответствие с функциональной надежностью летного состава, определяемое по типизации экипажа летного состава [14].

Нами проведены исследования определения возможности изменений вероятностно-детерминированной организации основных ритмов мозга с применением мультипараметрической обратной связи, где в качестве отдельных параметров выбраны частота чередований основных дискретно-информативных событий ЭЭГ-процессов.

Целевая функция БТС, реализующей задачи изменения нейродинамических процессов, определяется на основе комплекса условно-вероятности чередования ритма мозга. При таком подходе основной задачей мультипараметрического БОС является решение многокритериальной задачи.

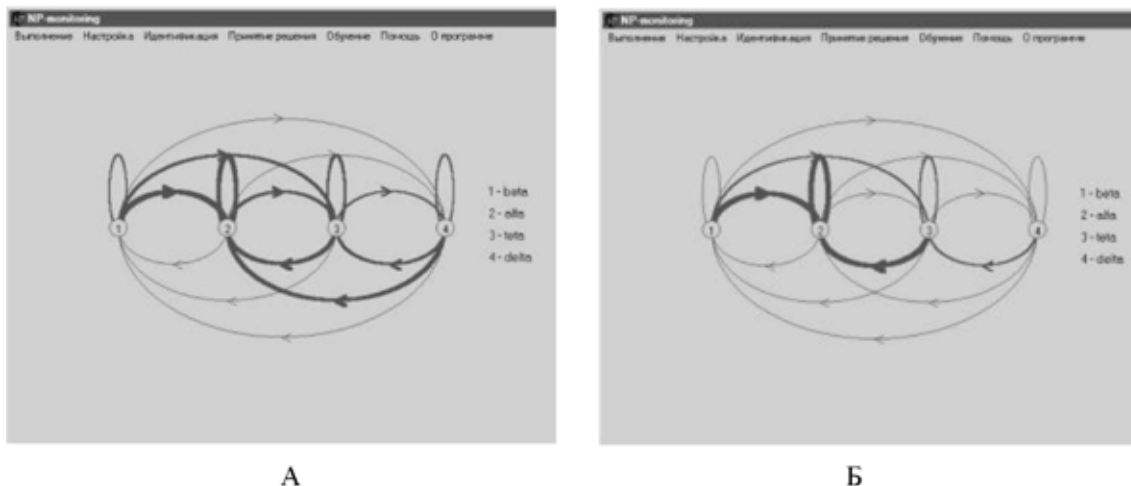


Рис. 3. Результат проведения тренировки с помощью мультипараметрической БОС методики. А и Б – соответственно вероятностно-детерминированные взаимоотношения основных ритмов мозга на начальном и конечном этапах тренинга

Для реализации задачи оптимизации нами использована процедура линейного свертывания отдельных критериев, при котором глобальная целевая функция сохраняет в себе априорно-неизвестные весовые коэффициенты. При этом каждый коэффициент характеризует степень управляемости данного компонента, связанный с функциональной пластичностью взаимоотношений основных ритмов мозга.

На рис. 3 представлен результат применения вышеизложенной методики к основным ритмам мозга [1]. Состояние (Б) получено в интерактивном режиме, где в каждом этапе уточняется степень управляемости отдельного параметра, который является весовым коэффициентом. Как видно из рисунка, в исходном состоянии (А) в биоритмологической организации ЭЭГ, помимо α -сток преобладает последовательности $\beta \rightarrow \theta$ $\alpha \rightarrow \theta$ $\theta \rightarrow \theta$ $\delta \rightarrow \theta$. Целевой задачей БТС является достижение «желаемого состояния» (Б), где доминирует только α -сток. Как показал результат поэтапного приближения к цели, доминировали коэффициенты управляемости в следующей последовательности: $\beta \rightarrow \theta$ и $\theta \rightarrow \theta$. Последовательность $\delta \rightarrow \theta$ является основным управляемым компонентом.

В данном случае выбранная совокупность параметров, характеризующая нейродинамические процессы в виде вероятностно-детерминированной структуры, полученные из одного канала ЭЭГ, отражают только временные взаимоотношения основных ритмов мозга.

Для более глубокого включения в управление нейродинамическими процессами це-

лесообразно использовать параметры в качестве показателей состояний вероятностно-детерминированные характеристики, отражающие структуру взаимоотношений информативных событий ЭЭГ-процессов, не только во временной области, а также в пространственном распределении отдельных ритмов по различным областям коры головного мозга.

Как видно из вышеизложенного, в качестве параметров для управления были выбраны показатели, относящиеся к нейродинамическим процессам на корковом уровне. Данная методика является более перспективной для управления состоянием организма, где каждый компонент является отражением процессов, проходящих на различных уровнях общей иерархической системы организма (ЭЭГ, ЧСС, КГР и т.д.).

Обобщая вышеизложенное, можно утверждать, что дальнейшее развитие применения мультипараметрической БОС методики непосредственно связано как с результатами фундаментальных исследований для выявления содержательной информации из биосигналов, так и с применением интеллектуальных технологий, опирающихся на синергетические принципы. Немаловажным в этом направлении является использование интеллектуальных датчиков и интерфейсов при проектировании портативных устройств.

Заключение

– Применение мультипараметрической БОС методики расширяет возможности функционального управления психофизиологическими состояниями.

– Представление целевой задачи БТС в виде многокритериальной задачи позволяет максимально использовать ресурсы, необходимые для управления состояниями.

– Применение векторной оптимизации для решения многокритериальной задачи позволяет определить различные типы неопределенностей при функциональном управлении состоянием организма с использованием интерактивной системы.

– Применение принципов синергетики дает возможность для выявления алгоритмов самоорганизации в процессе управления функциональными состояниями с использованием мультипараметрической БОС методики.

Список литературы

1. Аллахвердиев А.Р., Дадашев Ф.Г., Дадашева К.Г. Мультипараметрическая обратная связь и самоорганизация нейродинамических процессов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 7. С. 9–13.
2. Аллахвердиев А.Р., Дадашев Ф.Г., Дадашева К.Г. Синергетические принципы в управлении психофизиологическими состояниями по методу БОС // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 11–2. С. 291–294.
3. Пятакович Ф.А., Сурушкин М.А., Якунченко Т.И., Макконен К.Ф. Биотехническая система мультипараметрического игрового тренинга, направленная на модификацию функционального состояния человека. Научные ведомости. Серия Медицина. Фармация. 2011. № 10 (105). Вып. 14. С. 282–287.
4. Miller N.E. A bridge across a chasm: Learning and physiological regulation / Review of a book by Barry R. Dworkin, «Learning and Physiological Regulation» // Contemporary Psychology. 1994. № 39 (11). P. 1027–1029.
5. Lee J., Kim J.K., Wachholtz A. The benefit of heart rate variability biofeedback and relaxation training in reducing trait anxiety // Hanguk Simni Hakhoe Chi Kongang. 2015. Vol. 20, Is. 2. P. 391–408.
6. Lehrer P.M., Gevirtz R. Heart rate variability biofeedback: how and why does it work? // Front. Psychol. 2014. Vol. 5. P. 1–9.
7. Василевский Н.Н., Сидоров Ю.А., Суворов Н.Б. О роли биоритмологических процессов в механизмах адаптации и коррекции регуляторных дисфункций // Физиология человека. 1993. Т. 19. № 1. С. 91–98.
8. Сороко С.И., Турбачев В.В. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления. СПб.: Политехника сервис, 2010. 607 с.
9. Wyckoff S., Birbaumer N. Neurofeedback and Brain-Computer Interfaces // The Handbook of Behavioral Medicine. Oxford, UK: John Wiley & Sons, Ltd. 2014. P. 275–312.
10. Кузнецова Ж.А. Идеи синергетики в медицине. Текст: непосредственный // Молодой ученый. 2018. № 3 (189). С. 242–244
11. Нильсон Н. Принципы искусственного интеллекта. М.: Радио и связь, 2020. 373 с.
12. Уотерман Д. Построение экспертных систем / Под ред. Ф. Хейес-Рот, Д. Уотерман, Д. Ленат. М.: Мир, 2018. 441 с.
13. Дадашев Ф.Г., Аллахвердиев А.Р., Дадашева К.Г., Абдуллаев Х.И. Реализация метода мультипараметрической биологической обратной связи с помощью портативного устройства на базе сети микроконтроллеров // Технологии живых систем. 2021. № 2. С. 71–75.
14. Дадашев Ф.Г., Аллахвердиев А.Р., Агаев С.Р., Дадашева К.Г. Управление мультипараметрическими психофизиологическими состояниями в обеспечении функциональной надежности летного состава // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 2–2. С. 192–196.