

# БИОТЕХНИЧЕСКИЙ УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС

**С.И. Суятинов**

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5/1

E-mail: [ssi@bmstu.ru](mailto:ssi@bmstu.ru)

**Ключевые слова:** лабораторные работы, сложные системы, человек-оператор, функциональное состояние, сердечно-сосудистая система, идентификация.

**Аннотация:** Выполнение лабораторных работ является важной составляющей учебного процесса в техническом вузе. Они позволяют выработать навыки самостоятельной работы будущего инженера, закрепить теоретические знания. В связи с усложнением промышленного оборудования, внедрением в практику сложных систем управления возникают проблемы с организацией лабораторных работ, соответствующих современному состоянию техники. В работе представлен биотехнический учебно-исследовательский комплекс для выполнения лабораторных работ при подготовке специалистов в области управления техническими системами. Особенностью комплекса является то, что студент-экспериментатор выполняет функции объекта исследования. Используя биосигналы с миниатюрных датчиков, а также различные методы и алгоритмы обработки временных рядов, решаются задачи оценки состояния студента в роли человека-оператора. Являясь эффективной формой активного обучения, такой подход мотивирует студента не только на получение знаний, но и на активный их поиск. Приведены примеры.

## 1. Введение

Задачи управления возникают при решении проблем в различных областях: технических, био-медицинских, экономических, социальных. Более того, при современном развитии науки оптимальные решения лежат в междисциплинарной области. Доказательством является мировое признание стратегии научно-технического развития, основанной на нано-, био-, информационных и когнитивных (НБИК) технологиях [1, 2]. В рамках НБИК технологий одной из основных тенденций является развитие теории и практики управления сложными системами [3]. Такие системы доступны только по результатам косвенных измерений и наблюдений. Поэтому не удастся использовать традиционные методы исследования, например методы идентификации. Это затрудняет теоретическое описание и исследование закономерностей функционирования сложной системы. В связи с этим меняются подходы к исследованию таких систем и разработке методов управления ими. Это обуславливает и необходимость совершенствования инженерного образования и, в частности, подготовки инженеров-управленцев.

## 2. Лабораторные работы: задачи и объекты исследования

Неотъемлемой составляющей инженерного образования являются практические занятия, в частности, лабораторные работы. Обобщая результаты работ [4-7], можно

так определить задачи обучения в лабораториях будущих инженеров на современном этапе:

- в лаборатории студент обучается практике экспериментальной работы;
- лаборатория должна быть местом, где студент изучает новые, до конца непознанные объекты и явления;
- в лаборатории студент не только закрепляет теоретические знания, но и учится самостоятельно добывать новые, реализуя принцип «обучение через исследование»;
- лабораторные курсы должны основываться на естественно-научном фундаменте и формировать у студента понимание реального мира;
- лабораторные работы стимулируют творческую активность;
- учебная лаборатория – это то место, где у студента формируется влечение к инженерному делу.

Лабораторные работы особенно важны при изучении таких математически насыщенных дисциплин, как теория автоматического управления. Они позволяют студентам за абстрактными формулами увидеть физические принципы функционирования реальных устройств. Например, простая электромеханическая система наглядно демонстрирует основные эффекты автоматического управления, изложенные в теоретическом курсе.

Однако, подобные работы актуальны в случае определенного (детерминированного) и однозначного описания моделей лабораторной установки, которые характерны для классических объектов.

В случае изучения сложных систем с их «врожденной» неопределенностью, теория оперирует такими понятиями как синергетика, исследовательское моделирование, многомасштабные модели, слияние информации, базовые модели, реконструкция, энтропия и т.п. Практическая демонстрация этих понятий весьма затруднительна. В значительной степени это обусловлено отсутствием объекта исследования - сложной системы, функционирующей в условиях учебной лаборатории.

Вместе с тем сам студент (его организм) представляет сложную систему естественного происхождения. Здесь следует отметить, что в современных технических, физических, экономических и других науках рассматриваются столь сложные системы, что они по своему поведению напоминают биологические системы [8]. Поэтому на примере исследования и идентификации организма человека возможно изучение некоторых фундаментальных принципов функционирования сложных систем различной природы.

### **3. Особенности биотехнического комплекса для исследования сложных систем**

В рассматриваемом комплексе объектом исследования является человек, его функциональное состояние (ФС). До недавнего времени исследование ФС было возможно только в специальных лабораториях с использованием громоздких и дорогих аппаратных средств. Усовершенствование микроэлектронных устройств и прежде всего сенсорной и компьютерной техники позволяет создавать безопасные компактные информационно – вычислительные системы для оценки ФС человека – оператора, не нарушая его штатный режим работы [9, 10]. Подобные системы выбраны в качестве прототипа рассматриваемого биотехнического комплекса. Особо следует отметить, что студент в данном случае выполняет двойную роль, являясь и экспериментатором, и объектом исследования. Таким образом, студент определяет свое функциональное состояние, зако-

номерности его изменения, при действии возмущающих факторов, используя последние достижения в области обработки сигналов, идентификации, распознавания образов.

На рис. 1 схематично представлена обобщенная идея построения биотехнического комплекса. Нетрудно заметить, что это типовая схема мониторинга состояния реального объекта любой сложности. Сложность объекта будет определять выбор соответствующих методов обработки временных рядов. Следует обратить внимание на то, что методы и техника преобразования информации на каждом этапе изучается студентами на соответствующих курсах.

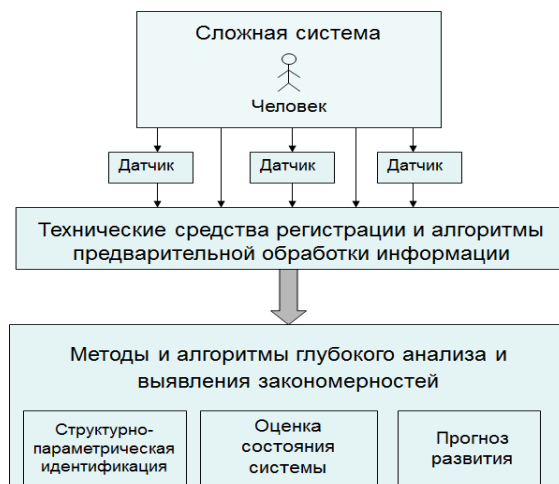


Рис. 1. Функциональная схема комплекса.

Исходной информацией для оценки состояния являются временные ряды биосигналов различного происхождения. В рассматриваемом случае оценка ФС человека производится, используя биосигналы кардицикла: ЭКГ и сфигмограмму. На рис. 2 приведены лишь некоторые направления и методы использования биосигналов в форме временных рядов для оценки ФС человека, диагностики и исследования фундаментальных принципов организации и управления в сложных системах.

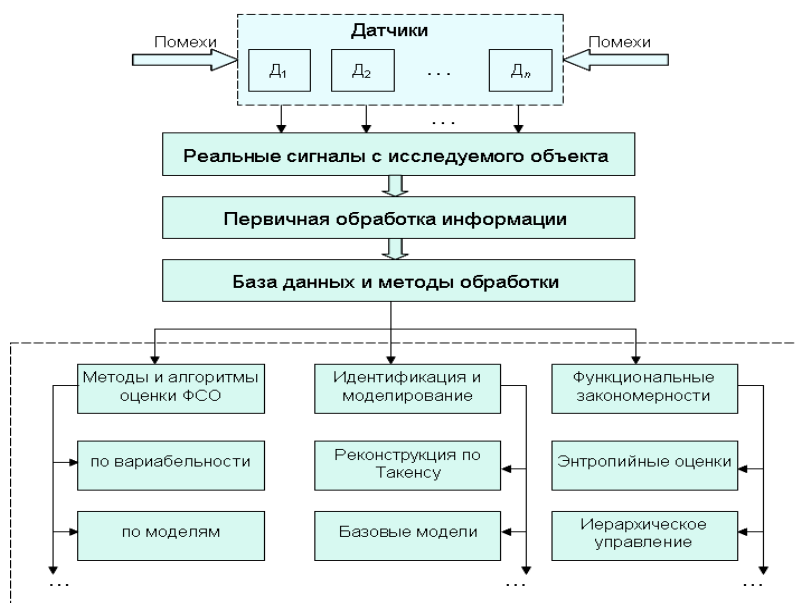


Рис. 2. Пример направлений и методов использования биосигналов в форме временных рядов для оценки ФС человека.

Возможны различные варианты технической реализации биотехнического комплекса. Если ориентироваться на импортные комплектующие, то наибольшей функциональностью будем обладать комплекс, реализованный с использованием оборудования фирмы National Instruments. Комплекс создан на кафедре «Системы автоматического управления» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Унифицированные функциональные блоки позволяют производить быструю реконфигурацию под конкретную задачу, а методы графического программирования программного комплекса LabVIEW, совместно с богатой библиотекой программ обработки и визуализации данных, значительно облегчают исследовательскую часть работы.

На рис. 3 приведено фото датчиков EPIC фирмы Plessey Semiconductors для регистрации ЭКГ [11]. Для снятия одного отведения ЭКГ нужны два одинаковых датчика, подключенных по дифференциальной схеме. Сфигмограмма регистрируется с использованием датчика пульсовой волны MAX30100.

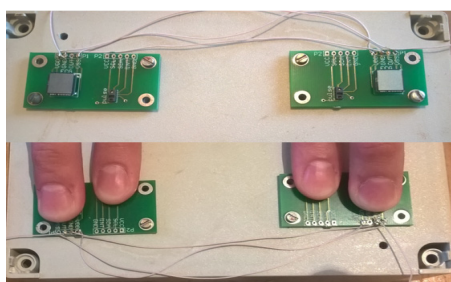


Рис. 3. Датчики и съем биосигналов.

В качестве примера рассмотрим решение задачи структурно-параметрической идентификации сердечно-сосудистой системы. В основу решения задачи положена концепция базовых моделей, в соответствии с которой сложные системы можно представить в форме относительно простых моделей. Поэтому модельную структуру сердечно-сосудистой системы представим искусственной нейронной сетью Вольтерра. Входом сети является сигнал ЭКГ, а выходом – сигнал сфигмограммы (рис. 4).

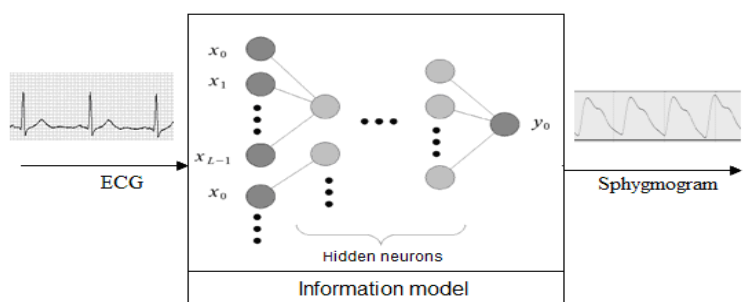


Рис. 4. Кибернетическая модель сердечно-сосудистой системы [12].

Полученные параметры (весовые коэффициенты) нейронной сети являются интегральными показателями состояния сердечно-сосудистой системы. В этом случае, как показывают эксперименты, характер зависимости пульсовой волны от сигнала ЭКГ определяется состоянием человека. Следовательно, значения весовых коэффициентов в модели сердечно-сосудистой системы, представленной нейронной сетью Вольтерра, также меняются.

Исследовательская часть работы может включать различные задачи, связанные с выбором структуры модели, методов идентификации параметров и кластеризации данных (весовых коэффициентов).

## 4. Заключение

Представлен биотехнический учебно-лабораторный комплекс, предназначенный для освоения методов и алгоритмов обработки временных рядов с целью оценки состояния сложных систем. Особенностью комплекса является то, что студент выполняет две роли: экспериментатора и объекта исследования. Исследование своего организма с помощью изучаемых методов является удачной формой активного обучения. В целом возможности представленного комплекса позволяют решать задачи современного инженерного образования, развивая творческую активность, самостоятельность в научно-техническом поиске, формируя потребность в постоянном обновлении знаний.

## Список литературы

1. Kamensky E.G. Context of NBIC-technologies development: Institutions, ideology and social myths // *Mediterranean Journal of Social Sciences*. 2015. Vol. 6, No. 6. P. 181-185.
2. *Converging technologies for improving human performance: Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science* / Ed. by M.C. Roco and W.S. Bainbridge. Kluwer Academic Publishers, 2003.
3. Novikov D. *Cybernetics: from Past to Future*. Berlin, Springer, 2016. 107 p.
4. Feisel L.D., Rosa A.J. The Role of Laboratory in Engineering Education // *Journal Engineering Education*. Vol. 94, No. 1. 2005. P. 121-130.
5. Lucky R.W. The future of engineering // *IEEE Spectrum*. 2002. Vol. 35. P. 86.
6. Suyatinov S.I. The Use of Active Learning in Biotechnical Engineering Education. *Handbook of Research on Engineering Education in a Global Context*. Hershey, PA: IGI Global, 2019. P. 233-242. doi:10.4018/978-1-5225-3395-5.ch021
7. Buldakova T.I., Suyatinov S.I. The Significance of Interdisciplinary Projects in Becoming a Research Engineer. *Handbook of Research on Engineering Education in a Global Context*. Hershey, PA: IGI Global, 2019. P. 243-253. doi:10.4018/978-1-5225-3395-5.ch022
8. Хакен Г. *Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам* / Пер. с англ. / Предисловие Ю.Л. Климантовича. Изд. 2-е, доп. М.: КомКнига, 2005. 248 с.
9. Paradiso R., Loriga G., Taccini N. A wearable health care system based on knitted integrated sensors // *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*. 2005. Vol. 9, No. 3. P. 337-344.
10. Winters J., Wang Y. Wearable sensors and telerehabilitation // *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*. 2003. Vol. 22, No. 3. P. 56-65.
11. Biswas A., Sarthak P. Smart Collar Short range signal triangulation for animal monitoring // *International Journal of Advanced Research*. 2016. Vol. 4, No. 1. P. 1528- 1535.
12. Suyatinov S.I. Criteria and Method for Assessing the Functional State of a Human Operator in a Complex Organizational and Technical System // *Global Smart Industry Conference (GloSIC)*. Chelyabinsk, Russia. 2018. P. 1-6. doi: 10.1109/GloSIC.2018.8570088