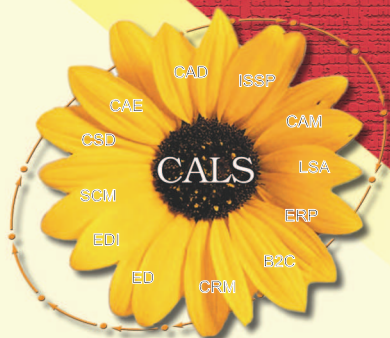


# КАЧЕСТВО ИННОВАЦИИ ОБРАЗОВАНИЕ

№4  
2013



журнал в журнале

КАЧЕСТВО и ИПИ (CALS)-технологии

[www.quality-journal.ru](http://www.quality-journal.ru)



А.С. Бессонов, Ю.Ю. Колбас, Т.И. Соловьева

## ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ НА ОСНОВЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ

Рассматриваются особенности создания лабораторного практикума на основе медицинского диагностического комплекса "Гемотест-микро". Предлагается использовать комплексный подход к обучению, в котором сочетаются компьютерное моделирование, практическое изучение системы и ее составных частей и лабораторный эксперимент.

**Ключевые слова:** лабораторный практикум, аппаратно-программный комплекс, компьютерная модель, медицинский датчик, среда графического программирования LabVIEW

Изучение на лабораторных и практических занятиях в учреждениях высшего и среднего специального образования современных и профессионально разработанных устройств и систем измерения, управления, контроля и диагностики является важным условием формирования профильных технических специалистов и способствует повышению качества учебного процесса. Это особенно важно для студентов, которые в будущем должны стать разработчиками новой техники, поскольку они должны не только научиться работать с готовыми аппаратно-программными средствами, но и понять принципы их функционирования, системотехнические и схемотехнические основы их создания, научиться проектировать на требуемом уровне, включая разработку программного обеспечения (ПО).

Аппаратно-программный комплекс (АПК) "Гемотест-микро", предназначенный для функциональной диагностики системы микроциркуляции крови человека, был разработан ЗАО "Объединение "Исток ЭОС" с использованием современных неинвазивных методов медицинских исследований и информационных технологий [1]. По мнению авторов данной статьи, АПК может оказаться полезным для обучения будущих разработчиков измерительной и медицинской диагностической аппаратуры. Поэтому на его основе в настоящее время создается лабораторный практикум (ЛП) с применением так называемого комплексного подхода, суть которого описывается ниже.

### 1. Комплексный подход к изучению АПК "Гемотест-микро"

АПК "Гемотест-микро", как уже отмечалось, построен с использованием новых методов измерений и информационных технологий, и актуальность их практического изучения не вызывает сомнений. Результаты этой разработки оказались также удобными для создания ЛП, предназначенного для студентов направления обучения "Приборостроение", по следующим причинам. Во-первых, при проектировании АПК широко использовалось моделирование в среде графического программирования LabVIEW [2], и полученные модели офор-

млялись в виде исполняемых приложений, доступных для распространения и применения в учебных целях. Другой существенной особенностью является то, что АПК представляет собой типичную виртуальную измерительную систему (ВИС) [3], построенную на основе персонального компьютера (ПК). Поскольку функциональность ВИС в значительной мере определяется ПО системы, основную часть практикума целесообразно посвятить вопросам разработки типичной для ВИС программы получения, обработки и отображения данных (ПООД), что повысит его ценность и эффективность обучения. Наконец, для понимания идей функциональной диагностики не требуется медицинского образования, и ее элементы воспроизводимы в обычной лаборатории при проведении эксперимента. Например, студент может сделать несколько приседаний с тем, чтобы наблюдать увеличение артериальной сатурации и частоты пульса и т.п., а еще лучшие результаты могут быть достигнуты при наличии специального тренажера (например, велотренажера).

Комплексный подход к изучению устройств и систем, который предполагается реализовать в ЛП, - это многоаспектный подход, ориентированный на гармоничное сочетание различных видов компьютерного моделирования, практического изучения аппаратных и программных средств и проведения традиционного лабораторного эксперимента. Как указано в [4], комплексный подход к обучению востребован в случае формирования технических специалистов высокого уровня, которые должны иметь целостное представление об изучаемых сложных технических объектах и глубоко понимать происходящие в них процессы.

Применительно к ЛП по изучению АПК "Гемотест-микро" комплексный подход определяет последовательность выполнения лабораторных работ, поставленные в них цели и содержание. По этим признакам практикум можно разделить на четыре части.

В первой части практикума предполагается изучение структурно-функциональной схемы и аппаратно-программной модели измерительного сервера [1] и проведение моделирования работы АПК на

системном уровне. В результате выполнения работ студенты должны понять основные принципы построения современных ВИС в целом и компьютерных систем медицинской диагностики - в частности.

Вторая часть практикума должна быть посвящена изучению спектро- и фотометрических методов неинвазивной диагностики и принципов работы медицинских датчиков. Исследованию здесь сначала подвергаются компьютерные модели объекта и средств измерений, а затем происходит ознакомление с аппаратными и программными средствами АПК в действии.

При выполнении работ третьей части производится анализ структурной схемы программы ПООД, изучение протокола обмена данными между клиентом и сервером, средств программирования среды LabVIEW, рекомендованных к использованию в данном конкретном случае, создание упрощенных модулей программы ПООД и, наконец, проверка их в действии. Лабораторные работы этой части практикума можно считать наиболее важными, так как при их выполнении студенты выступают в роли проектировщиков - разработчиков ПО ВИС.

Целью заключительной, четвертой части практикума является проведение лабораторного эксперимента, во время которого в соответствии с установленной методикой осуществляется простейшая функциональная диагностика одного из обучаемых в роли пациента. Она заключается в измерении параметров микроциркуляции крови в состоянии покоя, при переходе от покоя в состояние физической нагрузки, при физической нагрузке и обратном переходе к состоянию покоя. Вся полученная диагностическая информация визуализируется, сохраняется в файлы. По завершении работы происходит внесение служебной информации в базу данных пациентов и автоматическая генерация протокола функциональной диагностики.

Таким образом, выполнение первой и второй частей ЛП в приведенной последовательности соответствует процессу познания технического объекта от общего - к частному. В соответствии с комплексным подходом происходит сочетание исследования АПК на различных компьютерных моделях путем практического изучения и проведения лабораторного эксперимента. Как уже отмечалось, существенным моментом является обучение программированию путем создания некоторых упрощенных модулей программы ПООД и последующей проверки их работоспособности.

В следующих разделах статьи описаны некоторые аппаратно-программные средства АПК и компьютерные модели, используемые в ЛП и наиболее наглядно иллюстрирующие его характерные особенности.

## 2. Структура АПК и модель измерительного сервера

Упрощенная структурная схема АПК "Гемотест-микро" приведена на рис. 1. Она состоит из измерительного сервера и клиента, связь между которыми

осуществляется с помощью беспроводного интерфейса БПИ. Клиент в данной системе управляет запросы на получение данных, а измерительный сервер их выполняет.

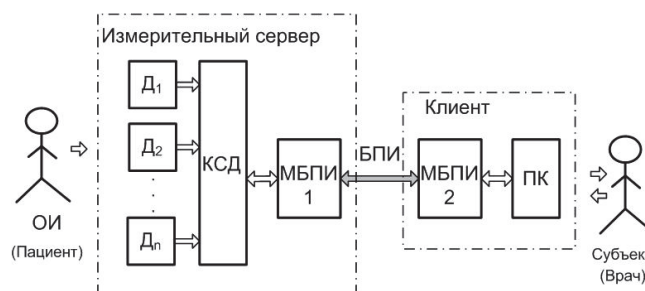


Рис. 1. Упрощенная структурная схема аппаратно-программного комплекса "Гемотест-микро"

Медицинские датчики  $D_1, D_2, \dots, D_n$  собирают под управлением компьютера сбора данных (КСД) измерительные сигналы от объекта исследования (ОИ), которым является пациент. После предварительной обработки данные в соответствии с установленным протоколом и с помощью модема беспроводного интерфейса МБПИ1 отправляются клиенту, имеющему аналогичный модем МБПИ2, и поступают в ПК, где программа ПООД их получает, обрабатывает, сохраняет и отображает, и диагностическая информация становится доступной субъекту, то есть врачу, проводящему диагностику.

Изучение структуры системы приходится на первые лабораторные работы, когда знания студентов недостаточны для использования измерительного сервера. Поэтому целесообразной является замена сервера его аппаратно-программной моделью, которая представляет собой ПК с установленной имитационной программой с открытыми LabVIEW блок-диаграммами [1]. Используя данные средства, студент может освоить принципы построения ВИС. К ним относятся: архитектура "клиент-сервер", методы разделения сложных процессов сбора и обработки данных на более простые процессы путем применения многих микропроцессоров и микроконтроллеров, применение БПИ для обеспечения мобильности связи и портативности измерительного сервера.

## 3. Компьютерные модели объекта исследования и составных частей АПК

При проведении научно-исследовательской работы, посвященной созданию АПК "Гемотест-микро", были разработаны разнообразные математические модели ОИ, медицинских датчиков и измерительных каналов [1]. Большая часть из них была реализована в среде LabVIEW и может быть использована в ЛП.

При анализе моделей ОИ учащемуся важно понять, что такое разнообразие обусловлено тем, что они отражают только те свойства объекта, которые важны при данном рассмотрении. Например, в основе всех методов неинвазивной спектрофотометрии, используемых в АПК, лежит разница в коэф-

фициентах поглощения света разных длин волн разными фракциями гемоглобина и иными составляющими биологической ткани, являющейся многокомпонентной и сильно рассеивающей свет средой. Оптические свойства практически всех форм гемоглобина в той или иной степени различны, что позволяет определить их содержание в крови [1]. Поэтому здесь важно отразить процессы распространения света в биологической ткани, его рассеяние и поглощение, зависящие от длины волны.

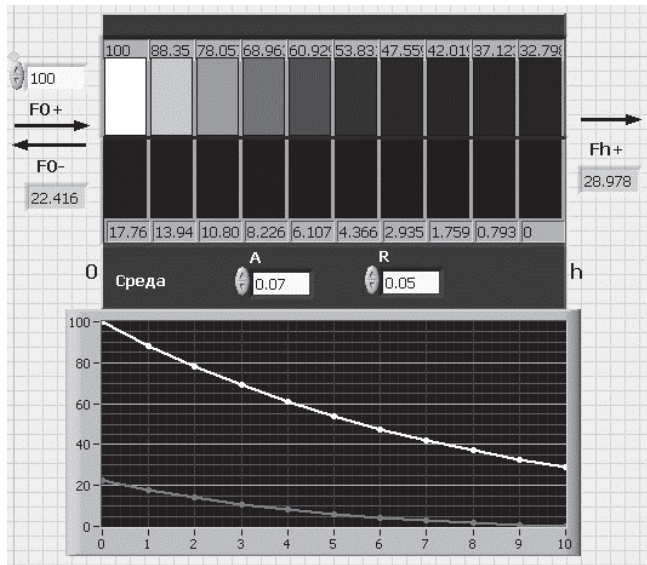


Рис. 2. Лицевая панель модели рассеяния света в мутной среде

Одна из компьютерных моделей ОИ, приведенная в качестве примера на рис. 2, наглядно демонстрирует распространение прямого светового потока F+ и обратного потока F- вдоль образца биологической ткани с шириной h, который в соответствии с его математической моделью [5] разбит на ячейки с одинаковыми коэффициентами отражения R и поглощения A. При моделировании учащийся может менять указанные коэффициенты, интенсивность входного потока F0+ и наблюдать за произошедшими изменениями. После изучения модели производятся реальные измерения в соответствии с заранее изученной методикой измерений, включающей в себя измерение интенсивности света на входе и выходе образца, проведение обработки данных и определение неизвестных параметров R и A, с последующим сопоставлением результатов моделирования и измерительного эксперимента.

Каждый спектро- и фотометрический медицинский датчик имеет в своем составе фотоусилитель. При его проектировании была создана схематехническая модель в среде Multisim (рис. 3) [6]. Используя различные режимы анализа, студенты могут изучить ее статические и динамические свойства и ознакомиться с основами автоматизированного схематехнического проектирования.

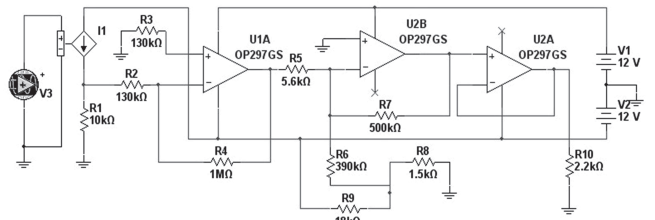


Рис. 3. Схематехническая модель фотоусилителя

Благодаря связи сред Multisim и LabVIEW модель фотоусилителя (рис. 3) можно использовать совместно с моделью ОИ (рис. 2) и, в частности, определить ослабление оптического сигнала, поступающего на кремниевый фотодиод, которое в данном случае составляет 5-6 порядков, а порядок регистрируемых токов - единицы микроампер.

Датчик температуры при динамическом моделировании обычно рассматривается как аperiodическое звено первого порядка. Его компьютерная модель легко создается при использовании средств LabVIEW Control Design&Simulation (рис. 4) [7]. Данная модель интересна тем, что здесь также имеется возможность сравнения моделируемой и реально измеренной переходной характеристик. Очевидно, что последнюю легко получить, приложив датчик температуры к телу и зафиксировав полученную временную зависимость на экране, формируемом программой ПООД.

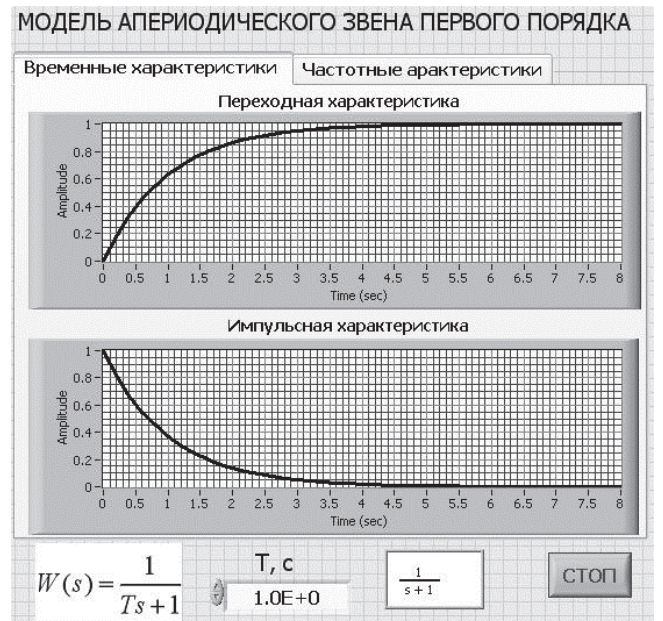


Рис. 4. Лицевая панель модели аperiodического звена 1-го порядка

#### 4. Структура программы получения, обработки и отображения данных и разработка ее программных модулей в среде LabVIEW

Программа ПООД была разработана в среде LabVIEW. Структура программы [1] типична для ВИС и имеет в своем составе интерфейсный мо-

дуль, модуль обработки данных, модуль интерфейса пользователя, модуль взаимодействия с базой данных и модуль формирования протокола. Все эти модули создавались на базе готовых средств LabVIEW в стиле графического программирования (рис. 5), которое, как известно, отличается сравнительно низкой трудоемкостью и не требует глубоких знаний в данной области. Это делает возможным обучение программированию при проведении лабораторных работ с последующей проверкой работоспособности созданных приложений. Следует отметить, что программирование высокого уровня и использование готовых функций является характерным для современного уровня развития информационных технологий, а среда LabVIEW по замыслу разработчиков и создавалась именно для использования специалистами других областей, в том числе и в области измерительной техники и медицинской диагностической аппаратуры.

В связи с этим, в качестве домашнего задания планируется предлагать изучение программного интерфейса NI VISA в части приема-передачи данных через последовательный порт и протокола взаимодействия клиента и сервера АПК "Гемотест-микро". Имея такую подготовку, на занятии можно реализовать в упрощенном виде интерфейсный модуль и модуль интерфейса пользователя, а затем практически ознакомиться с работой измерительного сервера, беспроводного канала связи, с декодированием посылок и отображением информации в различных формах на экране ПК.

В описание ЛП будут включены сведения о базе данных пациентов, созданной в СУБД Access 2007, и о *LabVIEW Database Connectivity Toolkit*, средства которого позволяют с небольшой трудоемкостью создать модуль взаимодействия с базой данных с использованием протокола ODBC и языка запросов

SQL. Данный модуль также подлежит разработке и тестированию на лабораторных занятиях. Аналогичным образом предполагается изучить функции *Report Generation Toolkit for Microsoft Office*, предназначенные для создания модуля генерации протокола функциональной диагностики с использованием технологии OLE Automation [3].

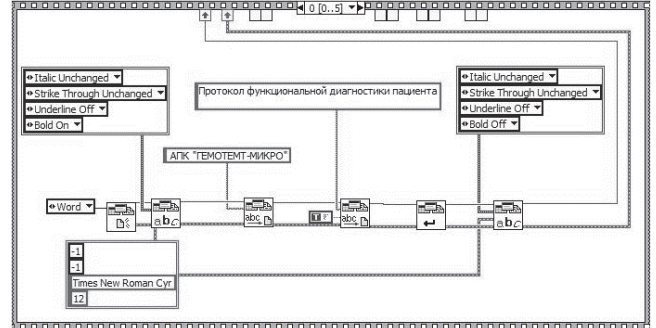


Рис. 5. Фрагмент блок-диаграммы LabVIEW программного модуля формирования протокола

Таким образом, при выполнении третьей части ЛП будет создан и проверен в действии упрощенный вариант программы ПООД. Учащиеся практически освоят программирование последовательных интерфейсов, средства создания и взаимодействия с базой данных из прикладных программ, а также средства автоматической генерации протокола диагностики.

### 5. Экспериментальный сбор диагностической информации

Заключительную часть ЛП планируется посвятить изучению АПК в штатном режиме его работы, то есть сбору диагностической информации. Как уже отмечалось, для проведения такой работы необяза-

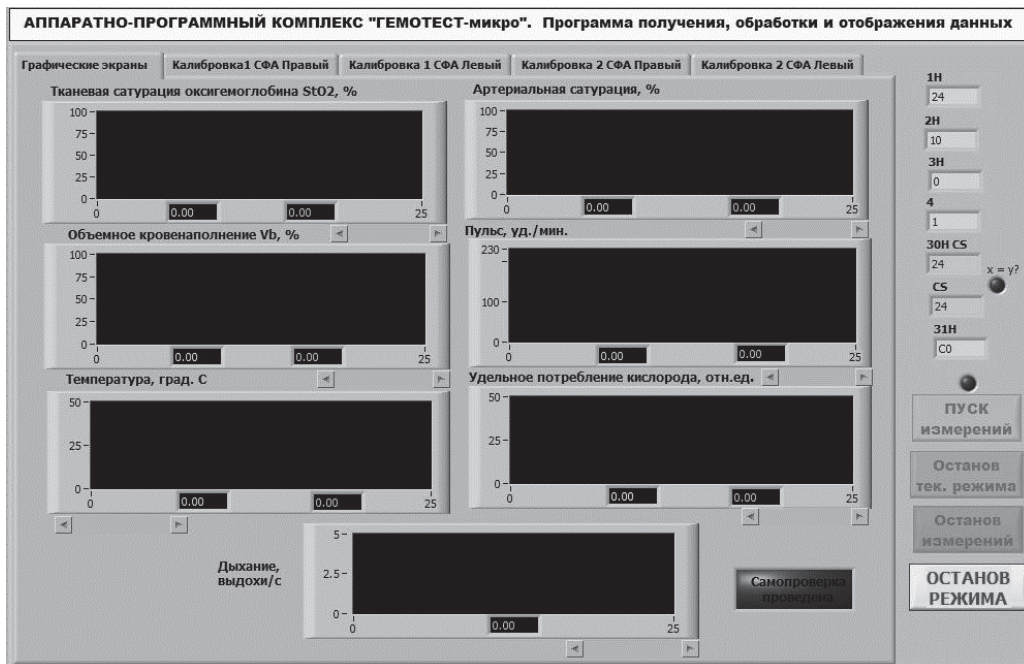


Рис. 6. Лицевая панель программы получения, обработки и отображения данных в режиме измерений

тельно обладать медицинской подготовкой, и сеанс простейшей функциональной диагностики могут вполне провести студенты технических специальностей. Для этой цели уже создана соответствующая методика с участием сотрудников МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского.

Проведение диагностики производится в следующей последовательности. Сначала калибруются спектрофотометрические датчики, что необходимо для их правильного функционирования. В базу данных вводится служебная информация, основу которой составляют данные о пациенте, роль которого играет один из обучаемых. Затем на нем укрепляются датчики, и запускается режим измерений, во время которого определяются параметры микроциркуляции крови, происходит их отображение на экране монитора (рис. 6) и запись в файлы. Пациент выполняет команды оператора комплекса, роль которого также играет один из студентов, и выполняет определенные упражнения или находится в состоянии покоя. Все студенты следят за измерением параметров и анализируют их ход.

Так, например, при переходе от состояния покоя к физическим упражнениям растут объемное кровенаполнение, частота пульса, частота дыхания и кожная температура, а тканевая и артериальная сатурация наоборот падают. При постоянной физической нагрузке все параметры стабилизируются, а при переходе в состояние покоя - изменяются в обратном направлении и также стабилизируются на других уровнях.

После завершения сеанса диагностики генерируется протокол установленного формата.

Таким образом, обучаемые получают навыки лабораторного использования медицинского компьютерного комплекса при проведении функциональной диагностики. Следует отметить, что описанная процедура характерна не только для диагностики человека, но и для контроля и испытательного различного рода технических объектов, что делает полученные навыки более ценными.

### **Заключение**

Лабораторный практикум на основе АПК "Гемотест-микро" создается на основе комплексного многоаспектного подхода к изучению этой современной системы медицинской диагностики. Выполнив практикум, студенты изучат современные технологии построения компьютерных систем сбора и обработки данных, спектро- и фотометрические методы измерений и неинвазивной диагностики, реализующие аппаратные их средства, получат навыки компьютерного моделирования, экспериментального изучения технических объектов и программирования в среде LabVIEW, а также использования АПК по прямому назначению - сбору диагностической информации с человека.

В настоящее время для создания практикума выделен экземпляр АПК, подобрано и систематизировано программное обеспечение, включая компьютерные модели, пишется учебное пособие, содержащее необходимые теоретические сведения

и методические материалы. Создание практикума планируется завершить в первом квартале 2013 года. Внедрение планируется в МИЭМ НИУ ВШЭ.

Проект создания АПК "Гемотест-микро" был поддержан на конкурсной основе Минобрнауки Российской Федерации (Госконтракт № 16.512.11.2003 от 10.02.2011 г.).

### **Литература:**

1. Бессонов А.С., Колбас Ю.Ю., Лапитан Д.Г. Информационные технологии в разработке медицинского аппаратно-программного комплекса для функциональной диагностики системы микроциркуляции крови // Медицинская физика. 2011. №2. С. 74-83.
2. Алексеев В.В. Виртуальные средства измерений // Приборы. 2009. № 6. С. 1-7.
3. Тревис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех. / 4-е издание, перераб. и доп. - М.: ДМК Пресс, 2011. 904 с.
4. Батоврин В.К., Бессонов А.С., Мошкин В.В. Комплексный подход к созданию компьютерных практикумов по аналоговой электронике // Дистанционное и виртуальное обучение. 2012. №4. С. 12-26.
5. Дмитриев М.А., Рогаткин Д.А., Федуква М.В. Об одной задаче рассеяния в классической теории переноса и рассеяния света в мутных средах / В сб. "Проблемы оптической физики", кн.1. - Саратов: ГосУНЦ "Колледж", 2003. С.157-167.
6. Шестеркин А.Н. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10. - М.: ДМК Пресс, 2012. 360 с.
7. Бессонов А.С., Компьютерное моделирование средств измерений с использованием модулей расширения LabVIEW // Ползуновский вестник. 2012. № 1/2. С. 74-77.

**Бессонов Алексей Станиславович,**  
канд. техн. наук, доцент,  
с.н.с. ЗАО "Объединение "Исток ЭОС".

**Колбас Юрий Юрьевич,**  
директор ЗАО "Объединение "Исток ЭОС".

**Соловьева Татьяна Ивановна,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры "Кибернетика",  
зам. декана по научной работе факультета  
"Прикладная математика и кибернетика".  
МИЭМ НИУ ВШЭ.

