

DOI: 10.51790/2712-9942-2021-2-3-7

**МАГИСТЕРСКИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ В ОБЛАСТИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ****М. А. Держо<sup>1</sup>, М. М. Лаврентьев<sup>2</sup>, А. В. Шафаренко<sup>1,3</sup>**<sup>1</sup> Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация<sup>2</sup> Институт автоматизации и электрометрии СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация<sup>3</sup> Университет Хартфордшир, Хатфилд, Великобритания  
lavrentiev@iae.nsk.su

*Аннотация:* в данной работе обсуждаются фундаментальные вопросы разработки программ магистратуры в области Интернета вещей (Internet of Things – IoT). Мы кратко сравниваем предложения Сколтеха и Стэнфорда и утверждаем, что наиболее гибкое решение достигается посредством вводного блока и четырех параллельных потоков учебных курсов: обработка сигналов и управление, обучение машин и искусственный интеллект (ИИ), программирование и схемотехника платформ с применением микроконтроллеров, и, наконец, сети и кибербезопасность. Вводный блок предполагается оснастить достаточным количеством предметов по выбору, чтобы поступающие выпускники бакалавриата из областей прикладной математики, информационных технологий и электроники/телекоммуникаций могли приобрести необходимые знания для освоения потоковых курсов. Мы утверждаем, что еще одним необходимым отличием программы IoT должен явиться междисциплинарный групповой дипломный проект значительного объема, также основанный на потоковых курсах.

*Ключевые слова:* Интернет вещей, образовательная программа, ориентированная на практические знания магистратура.

*Для цитирования:* Держо М. А., Лаврентьев М. М., Шафаренко А. В. Магистерские образовательные программы в области Интернета вещей. *Успехи кибернетики*. 2021;2(3):53–57. DOI: 10.51790/2712-9942-2021-2-3-7.

**IOT MASTERS PROGRAMS****M. A. Derzho<sup>1</sup>, M. M. Lavrentiev<sup>1,2</sup>, A. V. Shafarenko<sup>3</sup>**<sup>1</sup> Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation<sup>2</sup> Institute of Automation and Electrometry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation<sup>3</sup> University of Hertfordshire, Hatfield, United Kingdom  
lavrentiev@iae.nsk.su

*Abstract:* this paper discusses the fundamentals of postgraduate curriculum development for the area of the Internet of Things (IoT). We provide a brief contrasting analysis of Skoltech and Stanford Masters programs and argue that the most flexible way forward is via the introduction of a leveling-off, elective introductory stage, and four parallel course streams: signal processing and control; Artificial Intelligence (AI), and machine learning; microcontroller systems design; and networks and cyber security. The leveling-off stage is meant to provide sufficient electives for graduates of applied math, Information Technologies (IT), or electronics/telecom degrees to learn the necessary fundamentals for the stream modules. We argue that another distinguishing feature of an IoT masters program is a large project drawing on the stream modules and requiring a multidisciplinary, team development effort.

*Keywords:* Internet of Things, degree program, applied Masters.

*Cite this article:* Derzho M. A., Lavrentiev M. M., Shafarenko A. V. IoT Masters Programs. *Russian Journal of Cybernetics*. 2021;2(3):53–57. DOI: 10.51790/2712-9942-2021-2-3-7.

**Введение**

Интернет вещей (Internet of Things – IoT) – область информационных и телекоммуникационных технологий (ИТТ), набирающая обороты во всем мире, но одновременно это одна из самых «нечетких» областей компьютерных наук в широком смысле. С одной стороны, IoT имеет дело с малыми, часто встроенными цифровыми платформами, такими как микроконтроллеры или микрокомпьютеры, функционирующими в условиях ограничения энергии, мощности, времени, оперативной памяти, а

также пропускной способности каналов коммуникации с окружающей вычислительной средой, например, с облачными серверами. С другой стороны, ИОТ измеряет и обрабатывает сигналы и/или вырабатывает сигналы управления механическими, электронными или иными устройствами. Наконец, ИОТ-платформы вынуждены заботиться о своей кибербезопасности, несмотря на крайнюю ограниченность требующихся для этого ресурсов. Уже наличие системы взаимодействующих между собой сенсоров позволяет отнести IoT к одной из областей искусственного интеллекта (ИИ).

Для решения задач ИОТ разработчикам нужны компетенции в области обработки сигналов и статистики, программирования встроенных систем, в том числе систем реального времени, принципов и методологии защиты данных и контроля доступа. Часто необходимо отыскивать низкоуровневые решения, настроенные на конкретные применяемые аппаратные средства с учетом их (нередко не вполне понятной пользователю) специфики, чтобы удовлетворить ресурсным ограничениям. В дополнение к этому уже достаточно пугающему списку разработки и аналитики систем ИОТ зачастую лишены простых способов тестирования и отладки своих продуктов ввиду изоляции ИОТ-платформ от пользователя-человека. Например, встроенный «умный сенсор» может быть подвержен спорадическим сбоям программы под воздействием измеряемых величин и помех, которые трудно воспроизвести и даже удобным образом визуализировать. Наконец, проблемы кибербезопасности не могут быть решены без компетенций в области цифровых сетей, а в последнее время — и искусственного интеллекта (например, для автоматического распознавания слабозаметных кибератак).

Междисциплинарность, в разной мере характерная для всех областей компьютерных наук, в области ИОТ достигает, пожалуй, наивысшей отметки. Игнорировать ее, пытаясь втиснуть вышеперечисленные компетенции в прокрустово ложе софтверного инжиниринга, электроники, общих компьютерных наук или даже прикладной математики, — вещь в высшей степени непродуктивная. В настоящей статье проводится анализ и формулируются предложения по формированию магистерских программ по подготовке специалистов в области ИОТ в свете вышеприведенных обстоятельств.

В качестве примеров рассмотрим кратко содержание программ по IoT Сколтеха и Инженерной школы Стэнфорда.

В опубликованной программе Сколтеха «Интернет вещей и технологии беспроводной связи» [1] прослеживается традиционная тенденция комбинирования предметов, составляющих широкую учебную программу, с одной-двумя специализированными дисциплинами. В качестве обязательных предметов предлагаются введение в системы беспроводной связи и «Интернет вещей» (т.е. в титульные части программы) плюс обработка сигналов и обязательное в наше время (в любой учебной программе) машинное обучение (т.е. обучение машин, machine learning). Абитуриентам, не имеющим базы в вопросах программирования и алгоритмов на уровне бакалавриата, не дается шанса выровнять подготовку, а выпускникам бакалаврских программ компьютерных наук не предоставлена возможность заполнения пробелов в области физических принципов и электроники. Последняя, впрочем, вообще игнорируется как предмет.

Дисциплины по выбору также отражают эклектичность программы: IoT и беспроводная связь присутствуют в изоляции, а тематика искусственного интеллекта их не склеивает воедино, а вложена в качестве необъявленной третьей компоненты.

Стэнфордская программа магистратуры [2] не содержит подробного описания предметов, но из описания программы как целого видно, что она отличается большим фокусом на титульную область, с явным упоминанием сенсоров, электроники, сетей и встроенных систем. Модное машинное обучение в явном виде не упоминается, зато в части сенсоров обозначены любопытные тенденции к биологически значимым измерениям. Не вызывает сомнений, что все предметы (как это принято в Стэнфорде) будут содержать минимизирующее требуемый бэкграунд введение.

В каком-то смысле Сколтех и Стэнфорд выражают противоположные традиции и тенденции в преподавании компьютерных наук.

### **Программы бакалавриата**

Не требует доказательств тот факт, что корпус знаний в области IoT не имеет первичного характера. Невозможно рассматривать IoT без предварительного изучения общих основ цифровой вселенной: дискретной математики, компьютерной архитектуры, традиционного программирования, электроники/схемотехники и теории сигналов/систем. Такое базисное образование слишком широко для тради-

ционных программ ИТ-специальностей, которые сфокусированы на инженерной природе программирования, технологии создания больших программных комплексов, их пользовательских интерфейсах и методах их доводки и поддержки. Данные знания и умения с избытком заполняют стандартные программы под широким названием «Информатика и вычислительная техника» не только на бакалаврском уровне, но и магистерском. Абитуриенты, приходящие учиться профессии, как они понимают, программиста, не ожидают далеких экскурсий, скажем, в схемотехнику и аналоговую электронику и еще меньше интересуются измерениями и обработкой сигналов. С другой стороны, абитуриент по специальности «Электроника» вряд ли будет готов изучать тонкости криптографических алгоритмов или низкоуровневых систем программирования, существенных для создания платформ IoT. Столь же ясно, что прикладная математика, хотя и охватывающая множество полезных алгоритмов и методов, включая важный для IoT искусственный интеллект, не занимается ни схемотехническими вопросами, ни сетями коммуникаций, ни аспектами их кибербезопасности.

Единственный разумный выход — вынесение обучения IoT на уровень программы магистратуры и открытие ее бакалаврам из определенного спектра специальностей. Требование к бакалаврской ступени обычно формулируется альтернативным образом: допускаются выпускники специальностей от электроники до чистого программирования и прикладной математики, и даже в некоторых случаях физики-экспериментаторы или выпускники телекоммуникационных специальностей. По существу, нетрудно сформулировать базовые (входные) требования в терминах знакомства с программированием на языке высокого уровня, знания основ дискретной математики, теории обработки сигналов и др.

Данная статья призвана очертить круг задач и решений и стимулировать дискуссию с целью выработки детального взгляда на подготовку специалистов в области IoT.

### **Принципы построения программы магистратуры**

В соответствии с вышеизложенным мы предлагаем опираться при приеме в магистратуру на частичное знакомство с основами предмета, а не на полное им владение на первичном уровне. Это означает формирование двух рубежей обучения: вводного и основного. В зависимости от бакалаврской подготовки вводные предметы могут быть пропущены. Общая схема приведена на рис. Зеленым цветом показаны три вводных (базовых) модуля. Бакалавры-электроники могут пропустить введение в цифровую схемотехнику, а бакалавры-программисты — введение в программирование для IoT. Прикладные математики, возможно, не будут нуждаться в математическом введении в сигналы и цифровые системы (преобразование Фурье, в т.ч. дискретное преобразование Фурье, линейные дифференциальные уравнения, преобразование Лапласа и т.п.; булевы алгебры, конечные поля и т.п.). Методы искусственного интеллекта опираются на довольно специфическую статистику и методы оптимизации и не должны предполагать предварительное знакомство с математикой в объеме, большем, чем средний для технических специальностей. По контрасту цифровые сети требуют подготовки в области алгебры для понимания кодов в целях исправления ошибок, контроля целостности данных и т.п.

Принятый в магистратуру выпускник бакалавриата будет изучать один или два «зеленых» предмета, что дает возможность удобного расписания и максимальной гибкости и широты охвата при приеме.

### **Основные предметы**

Программа организована в виде четырех параллельных потоков, которые мы перечислим в произвольном порядке.

**1. Сигналы и управление.** Стартуя от проблемы преобразования сигналов из аналоговой в цифровую форму и обратно, мы приходим к пониманию необходимости подготовки измеряемых величин к измерению с помощью электронных устройств для усиления сигналов, нормировки их амплитуды и полосы частот, подавления помех и избежания нестабильностей. Этими вопросами занимается аналоговая электроника, как и вопросами формирования сигналов воздействия на окружающую среду в аналогичном плане. Поток завершается изучением принципов управления, как в классическом виде на основе дифференциальных уравнений, так и более изощренных, «нечеткой логики», эвристик и т.п.

**2. Искусственный интеллект (ИИ).** Этот поток решает две задачи: методы интеллектуализации сенсоров с целью надделения их способностью к локальному распознаванию ситуаций (таких как авария, болезнь, сбой и т.п.) и методы автоматического предотвращения кибератак. Не требует пояснения

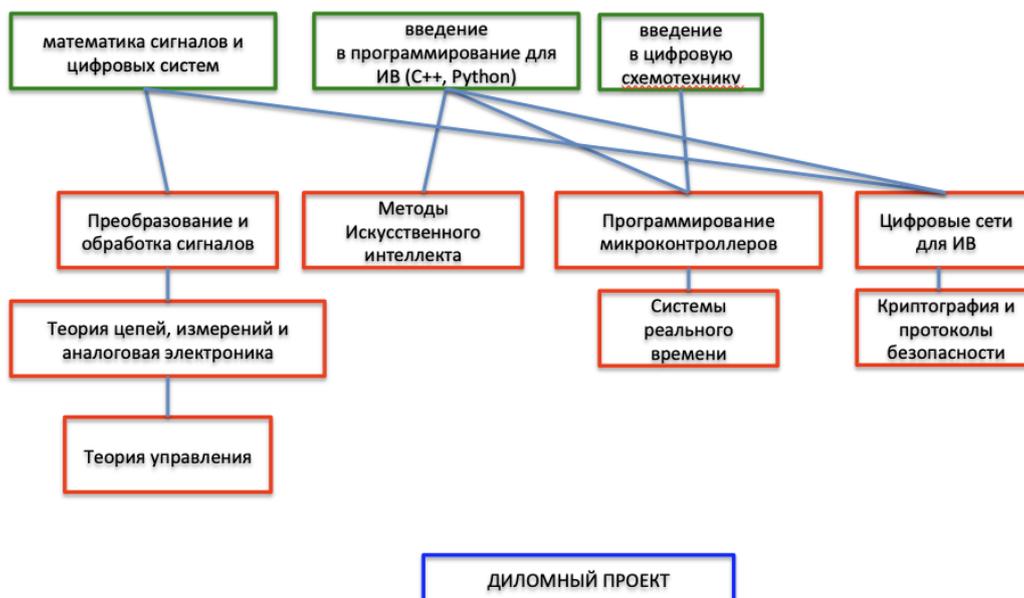


Рис. Основные блоки магистерской программы по IoT

тот факт, что преподавать конкретные решения без общей теории не имеет педагогического смысла, но и слишком большой охват ИИ чреват неоправданной перегрузкой программы вопросами, не связанными прямо с IoT. Например, методы машинного зрения более подходят курсам робототехники или общей информатики, как и методы распознавания речи. С другой стороны, общая теория многослойных нейронных сетей и соответствующие статистические методы искусственного интеллекта имеют прямое отношение к IoT.

**3. Программирование задач реального времени на микроконтроллерах.** В отличие от традиционного обучения программированию, в этом потоке во главу угла поставлены ресурсы: время, энергия/мощность и память. В то время как стандартные курсы концентрируются в основном на поведении при проходе интерфейса: корректные данные должны корректно выдаваться пользователю в ответ на ввод событий и значений, в мире IoT вопросы корректности вычислений не являются самыми сложными. Достижение правильных результатов в условиях ограниченности вышеперечисленных ресурсов, в особенности энергии и времени, вводит дополнительные измерения в пространство дизайнера и требует глубокой теоретической и практической проработки.

**4. Сети и кибербезопасность.** Потоки 1–3 сами по себе представляют законченную программу по направлению «Встроенные системы». Четвертый поток делает нашу программу ориентированной именно на IoT. Для университетов России он представляет особую трудность, так как теория и практика цифровых сетей в нашей стране относятся к области связи и коммуникационных технологий, традиционно *не* рассматриваемой как части общего комплекса информационно-телекоммуникационных дисциплин, обозначаемых в мировой практике как ICT (Information and Communication Technologies). Как следствие, вопросы связи отданы на контроль учебным заведением, называемым «университетами связи», где эти вопросы составляют костяк целых учебных программ. В контексте IoT требуются дисциплины «легкого касания», когда материал по сетям и телекоммуникациям излагается достаточно просто, с акцентом на *свойствах* каналов связи и систем маршрутизации сообщений, а не на их внутренней природе и способах разработки. В части кибербезопасности требуется, наоборот, достаточно подробное, профессиональное введение в фундаментальные вопросы криптографии и протоколов, лежащие в основе обеспечения конфиденциальности, целостности и аутентичности сообщений, а также доказательств присутствия или отсутствия фактов (концепция, известная в литературе как *non-repudiation*). Важность системных аспектов безопасности, таких как корень доверия, огненные стены, детекторы вторжения и т.п., трудно переоценить.

Главным модулем предлагаемой программы является тем не менее последний, показанный синим цветом на рис. дипломный проект. Интернет вещей по сути своей дисциплина, занимающаяся вопросами разработки решений с определенными потребительскими свойствами. Другими словами,

эта дисциплина занимается особым видом анализа и дизайна программно-аппаратных средств. Как и в любом другом образовательном процессе по обучению разработчиков, единственный способ по настоящему подготовить студента к его профессии — это дать ему для решения настоящую практическую задачу. Поэтому при разделении диаграммы на рис. на первый и второй год обучения следует иметь в виду, что доля дипломного проекта должна быть достаточно весомой. Типичный проект в IoT требует создания автономной системы на основе микроконтроллера и ряда датчиков (а возможно, еще и активаторов), разработки ее программного обеспечения, включая поддержку связи с Интернетом посредством сервера и низкоскоростных каналов связи, таких как ZigBee и LoRa. Причем платформа должна быть защищена от хакерских атак, а данные должны быть аутентифицированы, а в некоторых случаях конфиденциальны. Все это требует тщательного анализа ресурсов и угроз и невозможно в рамках слишком короткого проекта.

Мы полагаем, что проект должен быть годовым, а начиная со второго семестра второго года — единственным модулем в программе. Мы считаем важным требовать полного решения задачи (на разумном уровне сложности) с реализацией и эффективным испытанием полученных решений как «в металле», так и в случае необходимости с применением технологии симуляторов.

### **Заключение**

Мы продемонстрировали, что формирующаяся на наших глазах сфера IoT является междисциплинарной предметной областью, сочетающей особенности нескольких инженерных областей, математики и искусственного интеллекта. Мы обозначили нашу позицию в плане образовательных программ для IoT: такое образование должно быть на магистерском уровне; оно должно быть доступно бакалаврам ряда специальностей, включая прикладную математику. Мы указали новый способ разработки такой программы: три вводных дисциплины и четыре потока, завершающихся большим проектом, и привели примеры дисциплин внутри потоков. Специфика этих дисциплин, состав вводных предметов и характер проектов требует дальнейшей работы, в том числе в партнерстве с заинтересованной промышленностью.

Образовательные программы магистратуры в области IoT, предлагаемые ведущими университетами, реализуются в рамках разных УГСН (укрупненных групп специальностей и направлений) и направлений подготовки [3]. Предлагаемая нами программа также может быть адаптирована под ряд конкретных направлений, например, 02.00.00 Компьютерные и информационные науки, 09.00.00 Информатика и вычислительная техника и другие.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Skoltech. Skolkovo Institute of Science and Technology. Учебный план подготовки магистров / Master Program Curriculum по образовательной программе «Интернет вещей и технологии беспроводной связи», по направлению 09.04.01 Информатика и вычислительная техника / Educational Program “Internet of Things and Wireless Technologies”, Field of Science and Technology 09.04.01 Information Technology and Engineering. Режим доступа: <https://www.skoltech.ru/app/data/uploads/2016/12/MSc-Curriculum-2021-IoTWT-final.pdf>.
2. *Stanford School of Engineering. Internet of Things Graduate Program.* Режим доступа: <https://online.stanford.edu/programs/internet-things-graduate-program>.
3. *Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования.* Режим доступа: <http://fgosvo.ru/fgosvo/152/150/25>.