



## СОЗДАНИЕ НА МАТЕМАТИКО-МЕХАНИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ СПБГУ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ИТ-КЛАСТЕРА НА БАЗЕ СОВРЕМЕННОЙ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ

Леонов Г.А.<sup>1</sup>, Терехов А.Н.<sup>1</sup>, Новиков Б.А.<sup>1</sup>, Крук Е.А.<sup>1,2</sup>, Нестеров В.М.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>МИЭМ НИУ ВШЭ, Москва, Россия

<sup>3</sup>Центр разработок Dell EMC, Санкт-Петербург, Россия

### Аннотация

В ИТ-индустрии наблюдается острый недостаток квалифицированных кадров, причем нужны не просто программисты, знающие один-два языка программирования, а специалисты, владеющие серьезной математической подготовкой, глубоко знающие определенные предметные области. На Математико-Механическом факультете в течение последних 20-ти лет целенаправленно и постепенно принимались структурные и кадровые решения, направленные на повышение качества образования в этой области. В данной статье описана структура ИТ кластера, образованного на базе существующих и трех новых кафедр. Приводится описание этих базовых кафедр, сведения об их преподавателях, как достигается соответствие международным стандартам. Отдельный раздел посвящен связям с промышленностью в области ИТ, организации студенческих исследовательских проектов. Авторы надеются, что опыт нашего факультета будет полезен другим вузам, в которых ведется преподавание ИТ-технологий.

**Ключевые слова:** ИТ-индустрия, ИТ-образование, образовательные стандарты, связь с промышленностью, кафедры математико-механического факультета.

**Цитирование:** Леонов Г.А., Терехов А.Н., Новиков Б.А., Крук Е.А., Нестеров В.М. Создание на математико-механическом факультете СПбГУ научно-образовательного ИТ-кластера на базе современной фундаментальной математики // Компьютерные инструменты в образовании. 2017. № 2. С. 42–57.

### ВВЕДЕНИЕ

Среди важных стратегических технологий, которые определяют настоящее и будущее развития России и ее место в современном мире, ключевую и универсальную роль играют информационные технологии, а в их развитии важнейшей проблемой является подготовка высококвалифицированных кадров. Поэтому создание на математико-механическом факультете СПбГУ научно-образовательного кластера в

области информационных технологий на базе современной фундаментальной математики является стратегически важным шагом в этом направлении. Предлагаемая статья написана организаторами и руководителями научно-образовательного ИТ-кластера на математико-механическом факультете СПбГУ.

## 1. НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ ИТ-ИНДУСТРИИ В РОССИИ

Согласно ежегодным исследованиям, проводимым некоммерческим партнерством «РУССОФТ», в последние годы изменение курса национальной валюты негативно сказалось на объеме российского ИТ-рынка, тем не менее, рынок продолжает пусть медленно, но расти. При этом, несмотря на общий негативный фон в зарубежных СМИ, в международных рейтингах Россия в целом и российские ИТ-компании повышали свои позиции. Девальвация национальной валюты оказалась тем фактором, который помог российским компаниям стать более конкурентоспособными на глобальном рынке разработки программного обеспечения.

Несмотря на высокий уровень зарплат, в индустрии наблюдается острый дефицит квалифицированных кадров, и если во многих российских городах рынок труда в ИТ-отрасли замедлил темпы роста, то в Петербурге традиционно он наиболее оживлен. Практически все компании нанимают на работу новых сотрудников, имеют высокий показатель мобильности кадров и наибольший процент работающих выпускников. Отчасти это связано с тем, что петербургские вузы в целом и математико-механический факультет СПбГУ в частности сумели адаптироваться к изменяющимся условиям и готовят кадры, которые востребованы в крупных ИТ-компаниях.

Роль качественного высшего образования в сфере ИТ несомненно сохранится и в будущем, когда промышленные предприятия столкнутся с проблемами интеграции производственных процессов по вертикали (от разработки продуктов до логистики их доставки до конечного потребителя и обслуживания), что приведет к развитию различных технологий: устройств слежения и контроля за ходом производства, аутентификации пользователей с различными правами доступа, комплексного планирования, унифицированных платформ обработки данных и так далее. Кроме того, горизонтальная интеграция потребует, в первую очередь, новых технологий безопасной передачи данных, технологий дополненной и виртуальной реальности и так далее. Не останутся в стороне и специалисты, обладающие компетенциями в области обработки больших данных. Сейчас в потребительском сегменте, наблюдается бурное развитие цифровых технологий в современной индустрии. Недалек тот час, когда в реальной действительности машины будут производить другие машины, продукты и услуги, заточенные под каждого конкретного пользователя. Для обслуживания таких производств (в последнее время стало принято называть эту концепцию Индустрия 4.0) понадобятся специалисты совершенно другой квалификации, поэтому выпускники ИТ-специальностей должны обладать не только навыками, достаточными для работы по современным стандартам, но и уметь быстро адаптироваться к изменениям в индустрии.

## 2. ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ИТ-КЛАСТЕРА

В начале 90-х годов с появлением новых направлений ИТ, например, глобальных сетей, мощных компьютеров, больших баз данных, новых общих и специализированных языков и платформ программирования перед промышленностью и образованием были

поставлены новые, жизненно важные вызовы. Необходимо было отвечать на эти вызовы и создавать новые направления в подготовке ИТ-специалистов высокого уровня.

Для решения этой проблемы на математико-механическом факультете СПбГУ был создан научно-образовательный ИТ-кластер.

Известны попытки создания таких кластеров «в чистом поле» (примеры: Сколково, Иннополис), где основная ставка делалась на огромные инвестиции и приглашение известных зарубежных ученых. У нас же такое создание было осуществлено на прочном фундаменте петербургской школы развития прикладных исследований на математико-механическом факультете в 70-80 годы. Структурные, организационные и кадровые решения принимались здесь целенаправленно и постепенно в течение последних 20 лет.

Остановимся подробнее на упомянутом выше фундаменте.

## 2.1. Математический фундамент

В математике можно выделить несколько разделов, напрямую касающихся информационных технологий, — это разделы, изучающие непрерывность, дискретность и конечность. Причем часть разделов (например, математическая статистика, являющаяся сегодня базой методов обработки Больших Данных) применяется опосредованно, а некоторые (скажем, построение эффективных алгоритмов, исследование операций, теоретическая и прикладная кибернетика) — непосредственно [1].

В то же время, глубокое изучение более отвлеченных фундаментальных разделов математики, таких как алгебра, функциональный анализ или топология, имеет не менее важное значение для подготовки высококвалифицированных ИТ-специалистов (хотя и не используется напрямую в их повседневной деятельности), поскольку формирует практические навыки работы со сложными формальными конструкциями. Способность эффективно оперировать со сложными понятиями на высоком уровне абстракции отличает специалистов и архитекторов информационных систем, получивших фундаментальное математическое образование, от их более «практически ориентированных» коллег, поскольку позволяет находить тонкие, изящные и нетривиальные решения сложных архитектурных и технических проблем.

По сути, разработка и реализация алгоритмов, которые позволяли бы решить задачи, сформулированные на языке математики, является одной из главных целей обучения. Здесь стоит вспомнить члена-корреспондента РАН С.С. Лаврова, долго руководившего кафедрой Математического обеспечения ЭВМ (именно она явилась основой существующего отделения информатики математико-механического факультета СПбГУ). С.С. Лавров сильно повлиял на преподавание математических дисциплин для обучения программированию.

## 2.2. Структура кластера

В составе ИТ-кластера образованы 3 новые кафедры. Это кафедры системного программирования, прикладной кибернетики и информационно-аналитических систем, созданные соответственно профессором А.Н. Тереховым в 1996 году, членом-корреспондентом РАН Г.А. Леоновым в 2007 году, профессором Б.А. Новиковым в 2014 году.

Эти кафедры в сотрудничестве с ИТ-компаниями (как российскими, так и зарубежными) представляют собой современный научно-образовательный ИТ-кластер, где обучаются бакалавры, магистры и аспиранты. Кафедрами совместно с ведущими ИТ-компаниями созданы три совместные научно-образовательные лаборатории, ежегодно проводится дополнительное обучение студентов в рамках студенческих проектов и

летних школ, которые проходят на факультете, причем на любые занятия, проводимые сотрудниками ИТ-предприятий, может прийти любой преподаватель или студент. Это в корне отличает наш подход от традиционных базовых кафедр, когда предприятие отбирает нужных ему студентов и все занятия проводит на своей территории. Образование в лабораториях на математико-механическом факультете проходит на высоком научно-образовательном уровне, поскольку лидеры этого образования являются международно признанными специалистами в областях компьютерной архитектуры, программной инженерии, больших баз данных, защиты информации, теории управления.

Уже много лет на математико-механическом факультете существует Центр одаренных программистов, где под руководством первого российского чемпиона мира по программированию Андрея Лопатина готовятся команды СПбГУ, участвующие в различных международных олимпиадах по программированию и информатике. В 2000 команда СПбГУ под руководством преподавателя кафедры системного программирования Н.Н. Вояковской стала первым российским чемпионом мира по программированию. С 1916 года по 1997 год команда СПбГУ 4 раза занимала I место, 2 раза — II место, 1 раз — III место, 5 раз входила в десятку сильнейших, занимая с IV по IX места.

Силами кафедр, входящих в научно-образовательный ИТ-кластер, ежегодно проводится Всероссийская научная конференция по проблемам информатики СПИСОК (Системное Программирование, Интеллектуальные Системы, Обеспечение Качества). Конференция является очень удобной площадкой для подведения итогов работы исследовательских групп, для апробации результатов, репетиции защит, составления планов подготовки статей и летних научных школ.

Пленарные заседания и круглые столы выделены в самостоятельную конференцию — *Лавровские чтения*, где выступают известные учёные, которые в своих докладах показывают, как развивается информатика сегодня, на каком могучем фундаменте строится современное здание этой науки в России и какие серьёзные перспективы открываются в этой области у молодых российских исследователей. Многие выпускники кластера достигли замечательных успехов в своей профессиональной деятельности, например:

*Игорь Рубенович Агамирзян* много лет был директором Российской Венчурной Компании, в настоящее время работает Первым проректором ВШЭ,

*Владимир Владимирович Парфенов* — Вице-Президент компании Parametric (г. Бостон) — крупнейшего производителя CAD/CAM/CAE/PLM систем,

*Максим Геннадьевич Шафиров* — генеральный директор всемирно известной компании по разработке программных инструментов JetBrains,

*Андрей Андреевич Терехов* — директор департамента Open-Source проектов Microsoft Юго-Восточная Азия,

*Андрей Филев* — основатель и генеральный директор крупной компании Wrike.

### 2.3. Описание кафедр

**Кафедра системного программирования СПбГУ** была образована в 1996 году. С момента образования и по сегодняшний день кафедре возглавляет доктор физико-математических наук, профессор *Андрей Николаевич Терехов*, многолетний член ACM и IEEE, член редколлегий журналов из списка ВАК «Программная инженерия», «Компьютерные инструменты в образовании» и программных комитетов многих российских и международных конференций. А.Н. Терехов является сооснователем и генеральным директором крупной ИТ-компании ООО «ЛЕНИТ-ТЕРКОМ», занимающейся заказной разработкой программного обеспечения, а также руководит малым инновационным

предприятием ООО «ИТ центр СПбГУ». В лаборатории системного программирования было решено множество важных задач современного прикладного программирования, в частности, разработка первых в СССР трансляторов с языков Ада и Алгол 68, графических технологий проектирования, нашедших широкое применение в промышленности, оригинальных архитектур ЭВМ, в том числе повышенной надежности, гражданских и военных телефонных станций. Успехи лаборатории в решении практических наукоемких задач определили подход к обучению и основные направления деятельности кафедры.

Еще одним направлением работ кафедры руководит доктор физико-математических наук, профессор *Олег Николаевич Граничин*, который широко известен многочисленными научными работами, опубликованными в ведущих международных научных журналах, и учениками в области стохастического программирования и мультиагентных технологий.

Многие преподаватели кафедры системного программирования по совместительству работают в промышленных компаниях по разработке программного обеспечения, что позволяет им «держать руку на пульсе» ИТ-технологий и преподавать студентам не учебные истины, а самые современные подходы, реальную практику ИТ-индустрии.

Различными исследовательскими проектами, находящимися на стыке науки, индустрии и образования, а также междисциплинарными и международными проектами и исследованиями занимается профессор *Дмитрий Владимирович Кознов*, который к тому же является членом редакционной коллегии ежегодного издания «Системное программирование», а также членом программного комитета *International Conference on Knowledge Management and Information Sharing (KMIS) 2010* и членом организационного комитета *CAV 2013*.

На кафедре работают ученые, имеющие опыт работы в различных компаниях по разработке программного обеспечения, в области компьютерной криминалистики, компьютерной безопасности и др.

Кафедрой накоплен значительный опыт подготовки высококлассных специалистов. В основе подготовки лежит неуклонное следование международным образовательным стандартам, но не меньшую роль в научно-практической подготовке играет традиционное участие студентов кафедры в студенческих научных проектах и летних школах. Кроме того, студенты по желанию проходят стажировку в ведущих ИТ-компаниях Санкт-Петербурга и, уже начиная со 2-го курса, принимают участие в исследовательской работе кафедры системного программирования, малом инновационном предприятии «ИТ-Центр СПбГУ» и исследовательских лабораториях крупнейших производителей программного обеспечения. Как пример, выпускниками кафедры создано 5 компаний-резидентов Сколково.

В ходе учебного процесса студенты получают опыт работы с системами управления базами данных, программирования в средах современных операционных систем, участвуют в разработке сетевых протоколов, компиляторов, операционных систем реального времени, систем информационной безопасности, технологий программирования роботов, создания мобильных приложений и проектирования заказных кристаллов. Как результат, выпускники кафедры всегда востребованы на рынке ИТ-специалистов, в том числе за рубежом.

**Кафедра информационно-аналитических систем СПбГУ** — одна из самых молодых кафедр на математико-механическом факультете. Сотрудники кафедры работают в очень широкой и активно развивающейся области методов хранения, поиска, обработки и анализа информации, которая, в частности, включает: традиционные и нетрадиционные системы управления базами данных, проектирование баз данных и настройку при-

ложений баз данных, системы хранения данных и структуры хранения, логический анализ данных (data mining), информационный поиск, извлечение информации, распределенные системы поиска и анализа информации. Интеграцию в международное исследовательское сообщество можно проиллюстрировать организацией наиболее престижных международных конференций International Conference on Data Engineering в 2016 году и объединенной конференции Extending Data Base Technologies / International Conference on Database Theory в 2009 году, регулярными приглашениями в программные комитеты десятков конференций и журналов, а также публикациями сотрудников кафедры. Руководит кафедрой доктор физико-математических наук, профессор *Борис Асенович Новиков*.

Новым направлением в развитии кафедры информационно-аналитических систем становится прикладная криптография. Этот важнейший раздел технологий защиты информации претерпел существенные изменения в конце XX столетия. Появление и развитие вычислительных сетей, глобальных сетей связи, в которых невозможно организовать передачу только по «закрытым каналам», потребовало создания совершенно нового раздела криптографии — «криптографии с открытым ключом». Криптография всегда была фактически разделом математики, но развитие криптографии с открытым ключом предопределило необходимость развития новых разделов математики, привлечения существенно более разнообразного математического аппарата, чем это предполагалось классической защитой информации. Более того, криптография с открытым ключом продолжает бурно развиваться, практика ставит в ее рамках все новые задачи, такие, например, как задачи легкой криптографии (для защиты информации в сетях, использующих вычислительные устройства ограниченной вычислительной мощности), постквантовая криптография (криптографические системы, устойчивые к использованию квантовых компьютеров), скрытные вычисления (для облачных систем). Решение указанных задач требует привлечения глубоких математических теорий и подготовки специалистов нового типа, одинаково хорошо разбирающихся как в современных разделах алгебры, комбинаторики, теории алгоритмов, так и в методах и технологиях защиты информации. Учитывая выше сказанное, по инициативе профессора Г.А. Леонова, на кафедре информационно-аналитических систем под руководством профессора *Евгения Аврамовича Крука* начали проводиться исследования в области постквантовой криптографии. Следует отметить, что эти исследования вызвали интерес классических математиков. В частности в них принимает участие заведующий кафедрой алгебры математико-механического факультета профессор *Сергей Владимирович Востоков*. Естественно, эти исследования нашли отражение в учебных программах магистратуры кластера ИТ.

Значительная часть исследовательских проектов кафедры информационно-аналитических систем выполняется по заказам промышленных предприятий. Это относится как к работам сотрудников кафедры, так и к студенческим проектам, выполняемым в рамках курсовых и выпускных квалификационных работ. Большую роль в запуске магистерской программы по математическому обеспечению ЭВМ сыграла поддержка компании Яндекс, сотрудники которой участвовали в подготовке ряда специальных дисциплин, что обеспечило их современность и высокий уровень. Необходимо подчеркнуть, что для решения задач анализа данных, в том числе Больших Данных, требуется, наряду с навыками в области информационных технологий, глубокое знание математических оснований. Поэтому готовить таких профессионалов значительно труднее, а востребованность их даже выше, чем потребность в специалистах по информационным технологиям, поскольку они могут работать и в других отраслях промышленности.

В составе кафедры работают опытные преподаватели, в том числе профессора *Е.А. Крук* и *В.М. Нестеров*. Актуальность тематики и высокие достижения привлекают

молодых исследователей. Старший преподаватель Г.А. Чернышев дважды оказывался финалистом конкурса научно-исследовательских проектов, проводимого ACM SIGMOD — сообществом исследователей, занимающихся методами хранения и обработки данных, а также методами организации информации. В отличие от широко известных соревнований по программированию, этот конкурс предполагает выполнение заданий в течение нескольких месяцев, и обычно эти проекты завершаются получением полноценных исследовательских результатов.

**Кафедра прикладной кибернетики** была организована в 2006 году лауреатом Государственной премии СССР, членом-корреспондентом РАН *Геннадием Алексеевичем Леоновым*.

Основное направление подготовки на кафедре связано с изучением динамики сложных кибернетических систем: от вывода адекватных математических моделей, проведения их качественного и количественного анализа до разработки специализированного программного обеспечения, используемого для управления и моделирования [2, 3]. Поэтому одним из базовых принципов кафедры с момента ее создания является сочетание фундаментального математического образования с уровнем подготовки студентов в области информационных технологий, не уступающим уровню «чисто программистских» кафедр. В рамках учебных курсов студенты кафедры осваивают несколько языков программирования, прослушивают ряд курсов по фундаментальным ИТ-дисциплинам, связанным с архитектурой информационных систем, базами данных, современными технологиями промышленного программирования. В течение последних 9 лет для студентов третьего года обучения кафедра организует специальный учебный курс «Введение в промышленное программирование», который проводят действующие разработчики программного обеспечения — сотрудники крупной промышленной ИТ-компании — партнера кафедры. Курс включает в себя как теоретические занятия, так и практику и проводится в учебных классах компании. Это позволяет студентам в рамках учебного процесса непосредственно познакомиться с самыми современными технологиями и инфраструктурой, используемыми в промышленной разработке программного обеспечения, и получить практическое представление о менеджменте и управлении бизнес-процессами в ИТ. Кроме того, в процессе прохождения курса студенты усваивают на практике ряд важных надпрофессиональных навыков (soft skills), таких как правила деловой переписки и коммуникаций, навыки командной работы, умение презентовать свои результаты и т. д.

Каждый студент может выбирать направление своей специализации в рамках кафедры — либо сложная прикладная математика, либо информационные технологии.

Одна из специализаций кафедры связана с анализом и синтезом систем синхронизации, используемых в современных навигационных системах, телекоммуникациях и компьютерных архитектурах. В 90-х годах в компьютерных архитектурах стали широко применяться специальные системы автоматического управления — системы фазовой автоподстройки (phase locked loops). Эти устройства применялись для ускорения работы тактовых генераторов (clock boost), синхронизации работы процессоров в суперкомпьютерах и обработки информационных потоков многопроцессорных систем. В настоящее время такие устройства и их модификации являются также основной частью различных синтезаторов частот в современных компьютерах и служат для передачи цифровой информации со спутников в системах GPS и ГЛОНАСС. На кафедре прикладной кибернетики созданы и развиваются математические методы анализа и синтеза описанных выше систем, получены патенты с описанием новых классов устройств синхронизации, разработаны и читаются новые курсы по архитектуре информационных систем, содержащих такие устройства.

Для развития теории технических устройств фазовой синхронизации потребовалось создание и развитие новых методов в различных областях современной математики: в метрической теории размерности, теории бифуркаций, в теории дифференциальных, разностных, интегральных и интегро-дифференциальных уравнений. В настоящее время для проведения исследований современных систем фазовой синхронизации коллектив кафедры сотрудничает с известным инженером из Швейцарии Роландом Бестом (Roland Best, основатель компании Best Engineering, автор бестселлера по системам фазовой синхронизации, выдержавшего 6 переизданий) и известным инженером из Италии Джованни Бианчи (Giovanni Bianchi, инженер компании Advantest Europe GmbH, автор нескольких монографий по моделированию систем фазовой синхронизации).

Важными приложениями являются военные задачи, связанные с аппаратно-программными комплексами навигации и управления.

На кафедре прикладной кибернетики работает профессор *Райтманн Фолькер*, который до этого работал в Дрезденском техническом университете и в институте Макса Планка, а также другие ученые — руководители различных образовательных программ не только в СПбГУ, но и в совместной научно-образовательной работе факультета Информационных технологий University of Jyväskylä (Финляндия) и Математико-механического факультета СПбГУ. Например, *Николай Владимирович Кузнецов* (заместитель заведующего кафедрой — ученый секретарь) в настоящее время является Visiting Professor в University of Jyväskylä и координатором совместной научно-образовательной программы факультета Информационных технологий University of Jyväskylä и Математико-механического факультета СПбГУ. Часть специалистов кафедры, кроме защит кандидатских и докторских диссертаций в СПбГУ, защитили Ph.D. диссертацию в University of Jyväskylä.

Трижды, в 2008, 2014 и 2016 годах, коллектив кафедры признавался Ведущей научной школой России (грант Президента РФ). По заказу Правительства СПб о научной школе Г.А. Леонова и коллективе кафедры прикладной кибернетики снят фильм (<https://www.youtube.com/watch?v=yp7RpnPYu7I>).

В 2007 и 2012 молодые сотрудники получали гранты Президента РФ для поддержки молодых российских ученых. Коллектив кафедры принимал участие в международных проектах: NWO–RFBR Dutch-Russian cooperation program (2007–2008, The Netherlands); DST-RFBR Indian-Russian cooperation program, (2016–2017, India); гранты CONACYT (2008–2012, 2014–2017, Mexico).

В 2010–2012 коллектив кафедры принимал участие в мегагранте программы Правительства РФ для развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства (постановление Правительства РФ № 218 от 09.04.2010 г.), проект «Разработка программного комплекса для проведения расчетов однофазных и трехфазных многокомпонентных потоков для статических и динамических режимов, связанных с добычей и транспортировкой углеводородного сырья на Арктическом континентальном шельфе» (импортозамещение наукоемких технологий).

В 2014 году коллектив кафедры получил престижный грант РФ для поддержки ведущих кафедр и лабораторий — один из 13 грантов в области математики, информатики и в науках о системах. Для участия в выполнении гранта РФ привлечен декан факультета информационных технологий Университета Ювяскюля (Jyväskylä University, Finland) профессор Пекка Нейтаанмяки, автор более 20 монографий и всемирно известный ученый по хаотической и сетевой динамике из Гонконга Гуанронг Чен (Guanrong Chen, IEEE Fellow, Thomson Reuters Highly Cited Researchers in Engineering and Mathematics).

В 2016 году сотрудники кафедры Г.А. Леонов и Н.В. Кузнецов стали самыми высокоци-



тируемыми российскими учеными в области математики (по данным из Web of Science Core Collection) и получили Russian Highly Cited Researchers Award (Thomson Reuters) [4].

Среди преподавателей кафедры 3 доктора наук и 7 кандидатов наук, 6 из которых к тому же имеют степень PhD University of Jyväskylä (Финляндия), а двое являются первыми обладателями степени PhD СПбГУ.

### **3. СЛЕДОВАНИЕ МЕЖДУНАРОДНЫМ СТАНДАРТАМ И МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО**

В 2007 году в издательстве ИНТУИТ были опубликованы Рекомендации по преподаванию «Программной инженерии и информатики в университетах» (Computing Curricula: Software Engineering, далее CC:SE) [5]. Одним из редакторов перевода на русский язык выступил профессор А.Н. Терехов.

Одной из отличительных черт документа CC:SE является наличие рекомендаций, позволяющих адаптировать учебные программы для различных условий преподавания. Так, Программная инженерия может преподаваться и на отделении информационных технологий и в контексте инженерного образования. В CC:SE были приведены примеры того, как рекомендации можно адаптировать к сложившимся образовательным системам ряда стран (США, Великобритания, Израиль, Япония, Австралия). Однако не было шаблона для России. Усилиями членов авторского коллектива была предпринята попытка осуществить такую адаптацию [6].

Было принято решение о создании новой специальности, которая получила название 231000 «Программная инженерия» (за основу был взят стандарт подготовки бакалавров и магистров 010400 «Информационные технологии» [7]). Метод, который был использован для такой трансформации, можно разложить на три отдельных этапа:

1. Сокращение учебной нагрузки путем отказа от курсов, не являющихся обязательными в стандарте CC:SE.
2. Адаптация базовых курсов стандарта Информационные технологии под требования к соответствующим курсам, прописанным в стандарте CC:SE.
3. Анализ вариантов методик преподавания, указанных в CC:SE, для выбора наиболее подходящих практик преподавания в России.

На момент написания статьи на математико-механическом факультете СПбГУ по программе бакалавриата «Программная инженерия» обучается около 80 студентов. Конкурс для поступления на программу один из самых высоких на факультете и в университете в целом. В 2016 защитили выпускные квалификационные работы первые выпускники этой программы, 100% из них сейчас работают по специальности или продолжают обучение в программах магистратуры.

Сейчас в России 91 вуз готовит специалистов по направлению 09.03.04 «Программная инженерия» [8], причем СПбГУ занимает лидирующие позиции.

В соответствии с международным стандартом Computing Curricula: Computer Science 2001 (CC:CS), переведенным на русский язык (одним из редакторов перевода был преподаватель кафедры системного программирования А.А. Терехов), был создан образовательный стандарт СПбГУ по направлению 010400 «Информационные технологии». В настоящее время опыт научно-образовательной деятельности нашего ИТ-кластера активно распространяется по всем университетам России, где имеются ИТ-образование. Г.А. Леонов — председатель ФУМО по Второй группе специальностей, под его руководством и при его участии созданы государственные стандарты и образовательные программы по специальностям: «Математика и компьютерные науки», «Фундаментальная

информатика» и «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем». Многие российские вузы ведут обучение по образовательным стандартам, разработанным в СПбГУ.

В рамках ИТ-кластера активно развивается международное сотрудничество, и студентам и аспирантам предоставляется возможность дополнительного обучения и участия в европейских образовательных программах.

В 2007 году по инициативе декана математико-механического факультета СПбГУ Г.А. Леонова и декана факультета информационных технологий University of Jyväskylä (Финляндия) Пекки Нейтаанмяки была организована совместная российско-финская научная-образовательная программа. За 10 лет в рамках программы было защищено 5 диссертаций на степень Master degree и 11 диссертаций на степень Ph.D., трое из участников программы были поддержаны грантами Президента РФ для обучения за рубежом [9]. К участию в программе привлекались такие ученые, как S. Abramovich (США), V. Rasvan (Румыния), A. Zhigljavsky (Англия), I. Zelinka (Чехия), A. Medvedev (Швеция) и др.

С 2011 года совместно с университетом города Лаппеенранты (Финляндия) проводится ряд студенческих школ по программной инженерии, в 2014–2016 студенты посещали семинары по открытым данным в этом же университете. Также ряд преподавателей из Финляндии прочитали лекции в рамках различных учебных курсов кафедры. В рамках совместных международных исследований с финскими коллегами более 10 студентов защитили выпускные квалификационные работы.

#### 4. СВЯЗЬ С ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ

Взаимодействие с индустрией играет особую роль в деятельности кафедр, входящих в ИТ-кластер, поскольку задача подготовки и адаптация студентов ИТ-специальностей к последующей профессиональной деятельности в крупных российских и международных ИТ-компаниях является не менее важной стратегической задачей, чем собственно задача обеспечения фундаментального ИТ-образования мирового уровня.

В последние 15 лет была осознана фундаментальная проблема, связанная с подготовкой специалистов в области современного ИТ, заключающаяся в том, что существует фундаментальный разрыв между профилем академической подготовки выпускников университетов и профилем потребностей ИТ-компаний [3, 10]. Наличие такого разрыва связано с двумя основными факторами. Первый (и самый очевидный) из них связан с высокой динамикой изменений в ИТ-индустрии. Каждый год появляются новые технологии, инструментальные средства, программные и аппаратные платформы, и этот процесс приводит к быстрому изменению того индустриального окружения, в котором предстоит работать выпускникам ИТ-специальностей после окончания обучения.

Второй существенный фактор связан с отличием «правил игры», принятых в промышленных компаниях, от привычных стереотипов, с которыми студенты сталкиваются в процессе обучения в университете. Так, обычно учебные задания представляют собой четко поставленные самостоятельные задачи, основной критерий выполнения которых — получение правильного результата. В реальных же проектах, наоборот, часто задачи поставлены недостаточно четко, требуют для уточнения деталей коммуникации с другими участниками проекта, и условия могут меняться в процессе работы над задачей. Критерием выполнения задачи является не только получение правильного результата, но и то, как был достигнут этот результат, включая качество и стиль написанного программного кода, соблюдение принятых в проекте разнообразных соглашений, документирование решения и т. д. Кроме того, для успешной работы в индустрии от недав-

него выпускника требуется, помимо собственно профессиональной подготовки, владение рядом надпрофессиональных навыков (soft skills), таких как навыки деловой коммуникации, работы в команде, умение представить результаты своей работы и т. д. Этим навыкам очень сложно обучить студента в рамках академического процесса — для их приобретения требуется погружение в реальную производственную среду.

Пути решения проблемы лежат в выстраивании отношений между кафедрами университета, готовящими ИТ-специалистов, и крупными промышленными ИТ-компаниями, работающими на российском и мировом рынке. В рамках таких отношений возможно организовать процесс «погружения» студентов в приближенную к реальности индустриальную среду, не выходя при этом из университетского учебного процесса. Конкретные формы организации такого взаимодействия могут быть различными — как традиционный механизм организации базовых кафедр и совместных лабораторий, так и организация совместных с ИТ-компаниями учебных курсов и интенсивных студенческих практик, проводимых с активным участием действующих разработчиков, менеджеров и специалистов компаний.

Стандарт Software Engineering Curricula 2004 достаточно полон и конструктивен, в нем много внимания уделяется производственной практике, работе над проектами, подчеркиваются также важность и преимущества коллективной работы над дипломным проектом. Но практически невозможно научить составлению недельных отчетов, управлению конфигурацией программного обеспечения, QA (обеспечение качества), работе в команде и т. п. в классе у доски, поэтому была создана следующая система дополнительной производственной подготовки в студенческих проектах:

- во втором семестре второго курса студенты получили возможность принять участие в одном из 10–12 проектов, каждым из которых руководят не менее двух сотрудников индустриального предприятия. Никаких коммерческих результатов не ожидается (но если что-то получится, никто не будет против), организация проектов вполне «взрослая» (планирование, версионный контроль, управление конфигурациями, еженедельные отчеты, QA и т. д.);
- летом после второго курса для лучших студентов организуется летняя школа (1 месяц по 4 часа в день), причем студенты получают дополнительную стипендию от предприятия, чтобы как-то компенсировать частичную потерю летнего отпуска;
- начиная с третьего курса, постепенно, по мере появления вакансий, предприятия приглашают студентов на стажировку.

Накопленная за 15 лет статистика свидетельствует, что студенты, пришедшие после такой подготовки на ИТ-предприятие, работают на предприятии дольше, быстрее растут профессионально и карьерно. Более того, даже если считать только прямые затраты, оказывается, что находить сотрудников традиционным способом через службу HR (Human Resources) обходится существенно дороже затрат на обучение и привлечение студентов [11].

Таким образом, в выигрыше оказываются все:

- студенты, имеющие возможность бесплатно получить дополнительную подготовку, освоить навыки работы в производственном коллективе, изучить новейшие технологии, заранее подыскать себе место работы по душе;
- предприятие получает готовых специалистов, хорошо знающих порядки и технологии на предприятии;
- университет получает бесплатно опытных руководителей курсовых и дипломных работ и доступ к новейшим актуальным технологиям.

В стенах математико-механического факультета работают несколько совместных лабораторий СПбГУ и промышленных компаний. Это компании Dell EMC, JetBrains, Макро

Групп. Кроме того, кафедры, входящие в кластер, поддерживают тесные связи и с другими компаниями ИТ-отрасли (Digital Design, Ланит-Терком, КиберТех, Новые Мобильные Технологии, Системы Компьютерного Зрения и другие), которые принимают активное участие в дополнительной подготовке студентов, оказывают помощь в оснащении аудиторий факультета современной техникой и программным обеспечением, предоставляют базу для прохождения практик, приглашают известных ученых с мировыми именами для чтения лекций, предоставляют рабочие места для стажировок. Сотрудники этих компаний выступают рецензентами и научными консультантами курсовых и дипломных работ, а также активно участвуют в работе Государственных Аттестационных Комиссий по защите выпускных квалификационных работ.

По отзывам представителей профильных предприятий выпускников математико-механического факультета отличает глубокая математическая подготовка, необходимая в значительном числе проектов по разработке программного обеспечения. Такая подготовка сочетается с достаточно высоким уровнем практических навыков программирования. Например, несколько лет назад, по предложению компании EMC (теперь Dell EMC), генеральным директором Санкт-Петербургского центра разработки которой является профессор кафедры ИАС Нестеров Вячеслав Михайлович, на факультете была налажена подготовка специалистов, владеющих технологиями, необходимыми для разработки программного обеспечения в среде Mainframe.

Специфическая технология, обучение которой отсутствует в стандартных учебных программах, оказалась востребованной в промышленности, и на кафедрах научно-образовательного кластера была организована дополнительная подготовка студентов, а также проектная работа, позволяющая выработать необходимые практические навыки.

Как отмечает В.М. Нестеров, «выпускники мат-меха, как правило, привлекаются к участию в проектах, требующих разработки сложных алгоритмов, оценки их вычислительной сложности, а также к проектированию архитектуры тех программных систем, для которых критическими являются высокая надежность, производительность и экономное использование ресурсов; в последнее время весьма актуальным является разработка решений в области аналитики больших данных, управления киберфизическими системами, создания современных платформ для финансового сектора и др. Все эти области отличает высокая насыщенность сложными математическими алгоритмами. При разработке такого программного обеспечения выпускникам мат-меха нет равных».

Отдельный интерес представляет модель сотрудничества кафедры прикладной кибернетики и американской компании Exigen (ныне — Return On Intelligence), которая насчитывает уже более 10 лет. Сотрудничество с компанией началось в 2007 году и явилось результатом совместной инициативы тогдашнего президента Exigen Алека Милославского и декана математико-механического факультета Г.А. Леонова. Главной стратегической целью этого взаимодействия является подготовка и адаптация студентов ИТ-специальностей к последующей профессиональной деятельности в крупных международных ИТ-компаниях, работающих в области коммерческого бизнес-программирования — одной из наиболее обширных и востребованных в настоящее время частей программной инженерии.

Взаимодействие с компанией Exigen с самого начала строилось на некоммерческой основе. Вкладом со стороны компании являлась экспертиза в области современных технологий и методологий разработки программного обеспечения, используемых в индустрии, и знание современной корпоративной культуры, передаваемое студентам в рамках участия специалистов компании в учебном процессе. Как показывает опыт, такой подход позволяет, оставаясь в рамках университетского образовательного процесса, приблизиться к решению главной проблемы — соответствия профиля подготовки

ИТ-специалистов реальным (и быстро меняющимся) потребностям индустрии. Участие специалистов компании в учебном процессе осуществлялось в следующих формах:

- Чтение специалистами компании учебных курсов для студентов по промышленному программированию и тестированию программного обеспечения.
- Организация практик для студентов в компании.
- Предоставление заинтересованным студентам возможности прохождения углублённой подготовки в рамках внутрифирменного образовательного центра компании.
- Проведение специалистами компании интенсивных тренингов и мастер-классов для заинтересованных студентов и преподавателей факультета, посвящённых углублённому изучению современных промышленных технологий и средств программирования.

Лаборатория языковых инструментов JetBrains является совместным проектом кафедры системного программирования и компании JetBrains — одного из мировых лидеров в области производства средств разработки программного обеспечения.

Между факультетом и JetBrains всегда существовали прочные неформальные связи. В 2012 году эти неформальные связи кристаллизовались в программу поддержки научных исследований в области языков программирования и языковых инструментов. Как отмечает генеральный директор компании Максим Шафиров, «Фундаментальный уровень математической подготовки выпускников математико-механического факультета позволяет не только эффективно решать инженерные задачи в компании JetBrains, но и принимать успешные стратегические продуктовые и управленческие решения с использованием аналитических навыков».

По словам Председателя Совета Директоров Digital Design (Диджитал Дизайн) Андрея Рюриковича Федорова, «Диплом математико-механического факультета является существенным преимуществом для соискателя работы в группе компаний Диджитал Дизайн. Это связано с хорошей подготовкой выпускников в сфере программирования и высоким уровнем фундаментальных математических знаний. Такая комбинация позволяет молодым специалистам выходить за рамки стандартных решений и служит хорошей средой для рождения инноваций и создания интеллектуальной собственности».

В группе компаний Диджитал Дизайн на сегодняшний день работает более тридцати выпускников Санкт-Петербургского Государственного Университета. Почти все имеют дипломы математико-механического факультета или факультета ПМ-ПУ. Компания активно привлекает студентов к работе в реальных проектах и участвует в формировании учебных заданий.

Востребованность в специалистах в сфере информационных технологий крайне высока и год от года только увеличивается. Компаниям не хватает того количества хорошо подготовленных специалистов, которых выпускают несколько ведущих вузов города, и эта проблема негативно сказывается на развитии индустрии в целом. Но, в любом случае, выпускники мат-меха являются одними из самых лучших, и Диджитал Дизайн с большим удовольствием принимает их на работу».

## **5. НАСТОЯЩИЕ И БУДУЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИТ-КЛАСТЕРА**

В настоящее время ИТ-кластер является мощным научно-образовательным центром, который охватывает практически все важные направления цифровых технологий.

Мы готовы быть базовым центром ФУМО по Второй группе специальностей: «Математика и компьютерные науки», «Фундаментальная информатика» и «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем», а также по специальности «Программная инженерия». Мы готовы способствовать повышению квалификации преподавателей университетов России по этим направлениям в виде краткосрочных и долгосрочных стажировок и методического обеспечения учебных процессов.

Мы также готовы существенно расширить подготовку специалистов высокого уровня по указанным выше направлениям. Особенно важно в настоящее время открытие подготовки по перечисленным выше направлениям не только в бакалавриате, но и в магистратуре и аспирантуре. Необходимость в этом — дефицит специалистов на рынке труда в Санкт-Петербурге и России.

Таким образом, описанный в настоящей статье образовательный ИТ-кластер имеет высокую конкурентную способность на мировом рынке ИТ-образования, ИТ-науки и ИТ-технологий. Это подтверждается тем, что в 2013 году заявка «ИТ-кластер математико-механического факультета СПбГУ» стала победителем (1 из 19) конкурса Министерства связи и массовых коммуникаций РФ и Министерства образования и науки РФ на создание центров прорывных исследований в области информационных технологий [12].

### Список литературы

1. Косовский Н.К., Леонов Г.А., Терехов А.Н. Роль математического образования в подготовке специалистов по информационным технологиям / Труды Санкт-Петербургского научного форума «Наука и общество. Информационные технологии» (4-я Петербургская встреча Нобелевских лауреатов). 21–25 сентября 2009 г. С. 140–143.
2. Абрамович С.М., Александров К.Д., Костин В.А., Кузнецов Н.В., Леонов Г.А., Оносовский В.В., Сеledge С.М. Обучение разработке и использованию программных продуктов: об общих аспектах образовательной подготовки математиков и учителей // Дифференциальные Уравнения и Процессы Управления. 2016. № 2. С. 135–150.
3. Leonov G.A., Kiyayev V.I., Kuznetsov N.V., Onosovsky V.V., Seledzhi, S.M. Computers and software engineering: Developing new models for educating mathematicians // in book «Computers in Education». Vol. 2. Nova Science Publishers, 2012. P. 157–169.
4. Санкт-Петербургский научный центр РАН. Вручение наград 14 высокоцитируемым ученым России <http://www.spbrc.nw.ru/ru/info/910> (дата обращения: 10.02.2017).
5. Рекомендации по преподаванию программной инженерии в университетах. Software Engineering 2004. Перевод на русский язык под ред. А.Н. Терехова, А.А. Терехова, В.Л. Павлова. М.: ИНТУИТ, 2007.
6. Терехов А.Н., Терехов А.А. Computing Curricula: Software Engineering и российское образование // Открытые системы. 2006. № 2.
7. Сухомлин В.А. ИТ-образование: концепция, Образовательные стандарты, Процесс стандартизации. Москва, Горячая линия – Телеком, 2005 год.
8. <http://vuzoteka.ru/вузы/Программная-инженерия-09-03-04> (дата обращения: 10.02.2017).
9. 10 years of collaboration between University of Jyväskylä and Saint-Petersburg State University <https://www.jyu.fi/it/en/news/kuznetsov> (дата обращения: 10.02.2017).
10. Abramovich S., Kuznetsov N.V., Kuznetsov S.V., Leonov G.A., Onosovsky V.V., Seledzhi S.M. Learning to Develop and use Software Products: Some Common Aspects of Educational Preparation of Mathematicians and Schoolteachers / 3rd World Conference on Information Technology (WCIT-2012). Vol. 03 (2013). P. 44–52.
11. Andrey Terekhov, Karina Terekhova. The Economics of Hiring and Staff Retention for an IT Company in Russia, Proceedings of 4th International Conference SEAFOOD. Springer, 2010.
12. Минкомсвязь России. Победители конкурса на создание центров прорывных исследований в

области информационных технологий. 27 ноября 2013 <http://minsvyaz.ru/ru/events/30344/> (дата обращения: 10.02.2017).

*Поступила в редакцию 15.02.2017, окончательный вариант — 16.03.2017.*

---

---

Computer tools in education, 2017

№ 2: 42–58

<http://ipo.spb.ru/journal>

## **CREATION OF A SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL IT CLUSTER ON THE BASIS OF MODERN FUNDAMENTAL MATHEMATICS AT THE SCHOOL OF MATHEMATICS AND MECHANICS OF SPbSU**

Leonov G.A.<sup>1</sup>, Terekhov A.N.<sup>1</sup>, Novikov B.A.<sup>1</sup>, Kruk E.A.<sup>1,2</sup>, Nesterov V.M.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>SPbSU, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup>HSE, Moscow, Russia

<sup>3</sup>DELL EMC, Saint-Petersburg, Russia

### **Abstract**

In IT industry there is an acute lack of qualified staff and what is more important there is a lack not only of programmers who know one or two programming languages but of experts with professional mathematical skills who are experts in certain subject areas. In the Mathematics and Mechanics School we constantly and purposefully take structural and staff decisions to improve the quality of education in the area during the last 20 years. In the article the structure of the IT cluster formed on the basis of already existing and three new chairs is described. There is a description of these basic chairs, information about the lecturers and the correspondence to global educational standards. A certain chapter is devoted to relations with the industry in the IT field and the organization of student's research projects. The authors hope that the experience of our faculty will be useful to other universities where IT technology is taught.

**Keywords:** *IT-industry, IT-education, educational standards, ties with industry, Departments of the School of Mathematics and Mechanics.*

**Citation:** G.A. Leonov, A.N. Terekhov, B.A. Novikov, E.A. Kruk and V.M. Nesterov, "Sozdanie na matematiko-mekhanicheskom fakul'tete SPbGU nauchno-obrazovatel'nogo IT-klastera na baze sovremennoi fundamental'noi matematiki" [Creation of a Scientific and Educational it Cluster on the Basis of Modern Fundamental Mathematics at the School of Mathematics and Mechanics of SPbSU] *Computer tools in education*, no. 2, pp. 42–57, 2017 (in Russian).

*Received 15.02.2017, The final version — 16.03.2017.*

**Gennady A. Leonov, Professor, Dr. of Science, Member (corresponding) of Russian Academy of Science The Dean of Mathematics and Mechanics Faculty, SPbSU, [leonov@math.spbu.ru](mailto:leonov@math.spbu.ru)**

**Andrey N. Terekhov, Doctor of Physico-Mathematical Science, Professor, Head of Systems Programming Department of SPbSU, General Director of LLC Lanit-Tercom company, [a.terekhov@spbu.ru](mailto:a.terekhov@spbu.ru)**

**Boris A. Novikov, Professor, Dept. of Analytical Information Systems, SPbSU, [borisnov@acm.org](mailto:borisnov@acm.org)**

**Eugine A. Kruk, Doctor of Technical Science, Professor, Director of Moscow Electronics and Mathematic Tikhonov Institute Research University «Higher School of Economics»; Academic Professor of Research and Information Systems of SPbSU, [ekrouk@hse.ru](mailto:ekrouk@hse.ru)**

**Viacheslav M. Nesterov, Academic Professor of Research and Information Systems of SPbSU, General Director, Dell EMC Development Test Centre, [Vyacheslav.nesterov@dell.com](mailto:Vyacheslav.nesterov@dell.com)**

---

**Леонов Геннадий Алексеевич,  
член-корреспондент РАН, профессор,  
доктор физико-математических наук,  
декан математико-механического  
факультета СПбГУ, заведующий кафедрой  
прикладной кибернетики СПбГУ,  
[leonov@math.spbu.ru](mailto:leonov@math.spbu.ru)**

**Терехов Андрей Николаевич,  
доктор физико-математических наук,  
профессор, заведующий кафедрой  
системного программирования СПбГУ,  
генеральный директор ООО «Ланит-  
Терком»; 198504, Санкт-Петербург,  
Петергоф, Университетский пр. 28, КСП,  
[a.terekhov@spbu.ru](mailto:a.terekhov@spbu.ru)**

**Новиков Борис Асенович,  
профессор, заведующий кафедрой  
информатики СПбГУ,  
[borisnov@acm.org](mailto:borisnov@acm.org)**

**Крук Евгений Аврамович,  
доктор технических наук, директор  
Московского института электроники и  
математики им. А.Н. Тихонова НИУ  
«Высшая школа экономики»; профессор  
кафедры информационно-аналитических  
систем (ИАС) СПбГУ,  
[ekrouk@hse.ru](mailto:ekrouk@hse.ru)**

**Нестеров Вячеслав Михайлович,  
доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры ИАС СПбГУ,  
генеральный директор Центра разработок  
Dell EMC,  
[Vyacheslav.nesterov@dell.com](mailto:Vyacheslav.nesterov@dell.com)**



**Наши авторы, 2017.  
Our authors, 2017.**