

Некоторые вопросы подготовки кадров в области Суперкомпьютерных технологий для Цифровой индустрии

Ю.Я. Болдырев, А.И. Боровков, В.В. Глухов, О.А. Картавенко

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Как мы знаем «Цифровая экономика» является приоритетным направлением стратегического развития Российской Федерации до 2025 года. На самом высоком государственном уровне приняты решения о формировании соответствующих программ, в которых задействованы профильные министерства, региональные власти, многие компании реального сектора экономики. Формируются структуры по Цифровой трансформации практически во всех секторах экономики.

При этом, в настоящее время по ряду экспертных оценок Россия, занимает 41-е место, в списке из первых 50 стран наиболее готовых, как это принято сегодня говорить, к Цифровизации экономики. С точки зрения социально – экономических реалий развития страны, внедрение цифровой экономики в сферу трудовых взаимоотношений является необходимым условием не только для соответствия требованиям сегодняшнего дня, но, что значительно важнее, для процветающего будущего новых поколений.

В связи с этим, России необходимы новые поколения специалистов, дефицит которых все более и более ощущается во всем спектре направлений, связанных с научно-техническими и практическими аспектами внедрения цифровых технологий во все стороны жизни страны

Здесь также важно отметить, что в рамках государственной программы «Цифровая экономика» Россия планирует через 8 лет занять верхние позиции в рейтинге привлекательности для высококвалифицированных специалистов. Укажем на основные направления госпрограммы в интересующей нас в данной работе области:

- создание основополагающих условий для подготовки кадров в обозначенной сфере, что предполагает совершенствование системы высшего образования, которая должна обеспечить «Цифровую экономику» широчайшим спектром высококвалифицированных кадров;

- формирование рынка труда специалистов, обладающих новыми качествами, которые должны формироваться и развиваться с опорой на возможности технологий «Цифровой экономики»;

- создание системы мотивации персонала к освоению необходимых компетенций и участию в становлении «Цифровой экономики».

В настоящей работе мы попытаемся сформулировать те проблемы, которые, как нам видится, являются ключевыми при подготовке новых поколений специалистов как для самой основы «Цифровой экономики», - для компьютерной (суперкомпьютерной) отрасли, так и для всех отраслей народного хозяйства, главным образом в части прикладных вопросов инженерного анализа и проектирования. Здесь также представляется важным отметить и такое обстоятельство. Сегодня под цифровыми технологиями понимают все множество как компьютерных (суперкомпьютерных) технологий, так и совокупность информационно-коммуникационных технологий, как то - передача данных, развитие сетевой инфраструктуры, защита информации и т.д. Нам видится, что все последние направления нужно выделить в отдельную отрасль и здесь мы не будем её касаться, вполне понимая её важность.

Далее мы, по мере наших возможностей, мы попытаемся ответить на вопросы, возникающие в связи с сформулированными проблемами, в первую очередь в части компьютерных (суперкомпьютерных) технологий.

Здесь уместно отметить, что проблеме внедрения суперкомпьютерных технологий в индустрию и сферу высшего образования в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого достаточно давно уделяется большое внимание [1 - 4]. Передовые компьютерные и суперкомпьютерные технологии уже многие годы успешно развиваются во всех аспектах деятельности вуза. Здесь достаточно упомянуть хотя бы о таком факте, как наличие в Политехническом университете второго по мощности после МГУ им. М.В.Ломоносова Суперкомпьютерного центра с широким спектром классов как исследовательского, так и инженерного про-

граммного обеспечения. Заметим, также, что сам Суперкомпьютерный центр был создан в рамках выполнения Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы», где его создание было записано отдельной строкой, что свидетельствует о признании работ вуза в области суперкомпьютерных технологий.

Возвращаясь к проблемам подготовки кадров высшей технической школой, прежде всего, определимся с ключевыми понятиями, которыми будем оперировать. Возьмем, например, само понятие «Цифровой экономики», которую мы определяем, как некоторое «предельное» состояние социально – экономической системы с тотальным интеллектуальным подходом к решению общественных, социальных и экономических отношений на основе полномасштабного применения цифровых (компьютерных) технологий. Это общество с высочайшим и повсеместным уровнем использования компьютерных и информационно - коммуникационных технологий. Развивая это определение под «Цифровой индустрией» мы понимаем общественное производство, где вся совокупность технологий основана на компьютерных и информационно - коммуникационных технологиях (процессы на отдельном предприятии, группе предприятий, в отрасли и в целом в экономике, где все технологические цепочки и их комплексы, реализуются посредством названных технологий).

Ядрами «Цифровой индустрии» на данном этапе её становления и развития в рамках перехода экономики на цифровые технологии, являются «Цифровые фабрики», каждая из которых есть совокупность систем полных технологических решений по производству тех или иных продуктов - изделий (машин, агрегатов, приборов и т. д.). Ключевыми факторами, характеризующими «Цифровую фабрику», являются:

- ориентация на востребованную мировым рынком продукцию предприятия, как на текущий момент времени, так и на определенную перспективу, включающие: мониторинг лучших мировых образцов продуктов, характеристику объема мирового рынка, анализ передовых процедур процессов проектирования и производства;
- создание, в рамках её деятельности, «цифровых» моделей продуктов на основе математического моделирования и цифрового проектирования;
- обеспечение полного производственного цикла изготовления продуктов - изделий на основе передовых и традиционных производственных технологий на базе полностью компьютеризированного цикла проектирования, изготовления, организации производства и т.д.;
- обеспечение ресурсной, логистической и иных форм поддержки процессов производства на базе информационно - коммуникационных технологий.

Определив таким образом «Цифровую фабрику» мы обозначили самые общие горизонты развития передового общественного производства. С позиций задач концепции подготовки кадров необходимо сделать более детальный анализ характеристик «Цифровой фабрики»: компьютерных и информационно-коммуникационных реализаций всех этапов и сторон процессов производства.

В контексте этого, важнейшей задачей научно-технического сообщества представляется изучение существа, связанных со становлением самого института «Цифровых фабрик» проблем. При этом речь идет об изучении всей гаммы таким проблем, а это проблемы, которые в принципиальном плане меняют сегодня и в недалеком будущем кардинально поменяют сам характер любого производства.

В духе последнего, очевидно, что именно передовые производства в формате «Цифровых фабрик» будут в близком будущем потребителями основного контингента выпускников вузов, причем не только технических. И здесь, подойдя непосредственно к подготовке инженеров для «Цифровой индустрии» мы, для того чтобы увидеть стратегическую перспективу, должны оценить масштабы совершающейся на наших глазах технологической революции. А речь идет именно о революционной смене технологических укладов и цепочек на всех без исключения предприятиях всех отраслей промышленности, - ведь именно таков смысл только что определенного понятия «Цифровой фабрики». Но ведь такая смена влечет за собой в очень многих случаях и смену существа инженерной деятельности!

И здесь интересно и поучительно обратиться к историческому опыту развития системы высшего образования [5 - 8]. Если посмотреть на историю Цивилизации, то, по крайней мере, в последние 500 – 600 лет (со времени Эпохи Возрождения), мы увидим, что сама система под-

готовки инженерных кадров, пережила за эти века несколько смен - парадигм содержания инженерного образования. При этом, внимательный анализ показывает, что все они связаны с развитием фундаментального естественнонаучного знания. Предпоследняя такая смена произошла примерно в последней четверти XIX века и определялась уровнем развития естественных наук, достигнутым к тому времени. Подходы классической математики и механики, восходящие к И. Ньютону (1643 – 1727 гг.), Л. Эйлеру (1707 – 1783 гг.) и Ж.Л.Лагранжу (1736 – 1813 гг.), дополненные трудами плеяды выдающихся ученых XIX века, доминировали в подготовке инженерных, да и не только инженерных кадров, примерно до середины XX века. В течение этого времени содержание естественнонаучных основ инженерного образования менялось крайне незначительно. Для этого достаточно посмотреть на программы курсов математического анализа, механики и физики, а также ряда базовых общеинженерных дисциплин, таких как сопротивление материалов, детали машин, общая электротехника и т.д. Да, появлялись новые специальности и дисциплины, но естественнонаучное ядро оставалось практически неизменным.

Почему примерно до середины XX века система подготовки инженерных кадров практически не менялась, и первые изменения в такой подготовке начались примерно в конце 60 – начале 70 – х годов? Ответ на поставленный прост. Именно в эти годы ЭВМ начали массово внедряться в производство¹, что повлекло за собой широкое внедрение в учебный процесс - курсов по вычислительной математике и основам программирования. В это же время в университетах и технических вузах стали появляться курсы, связанные с разными аспектами вычислительных методов, алгоритмизации, основами программирования (языки, среды программирования), операционных систем, пакетов и позднее программных комплексов для решения классов инженерно-экономических, проектно-конструкторских и естественнонаучных задач.

С обозначенного времени 60 – 70 – х годов прошлого века, применение компьютеров и связанных с их использованием подходов и технологий непрерывно расширялось. Это касалось всех сторон жизни общества, но в первую очередь, речь идет о сферах науки и производства. Массовое внедрение в самых разнообразных формах вычислительных методов в научные и инженерные расчеты, а несколько позже технологий статистического учета в государственных органах, формирование новых взглядов на документооборот и т.д. привело ученых к пониманию того, что внедрение ЭЦВМ в жизнь общества открывает в его жизни новую страницу.

К концу 70-х годов многие выдающиеся ученые стали говорить о начале новой эпохе, - эпохе математического моделирования. И, здесь безусловным лидером был выдающийся отечественный математик, академик А.А. Самарский (1919 – 2008 гг), построивший концепцию математического моделирования [9]. Сама концепция А.А.Самарского при её анализе позволяет увидеть основы поворота к новым подходам, в том числе, и в высшем инженерном образовании. Но здесь есть ряд обстоятельств, которые требуют серьезного внимания, причем обстоятельства эти, относясь к категории научно – методических, одновременно требуют и определенного философского осмысления. Речь идет о том, что интенсивное развитие в последние десятилетия технологий математического моделирования в совокупности с мощным рывком в развитии компьютерных технологий, придали совершенно новое содержание процессам исследования Природы и разработкам в области инженерной деятельности.

Действительно со времен строителей пирамид, Архимеда и Аристотеля эксперимент, а точнее физический эксперимент всегда стоял во главе угла, как в научно-исследовательской, так и в любой практической деятельности. Что же касается теоретических исследований, систематически начатых в математике и механике Архимедом (достаточно упомянуть о том, что интегральные суммы первым определил именно он, а не Дарбу!) и Евклидом (вспомним его гениальные «Начала»), то они развивались медленно и весьма неравномерно до работ Ньютона, Эйлера и Лагранжа, заложивших фундамент современного естественнонаучного знания. И именно от работ этих гениев берет свое начало современное теоретическое знание, которое во второй половине XX века оформилось как математический эксперимент, основанный на технологиях математического моделирования, о чем сказано выше.

¹ Заметим, что тогда же (1962 г.) в Политехническом была создана кафедра Вычислительная математика, позднее переименованная в Прикладную математику, одновременно с созданием кафедр Информатики в Стенфордском университете и университете Пердью в США.

Прежде чем говорить о том, как сказанное проецируется на подготовку инженерных кадров нам нужно указать еще на несколько важных обстоятельств. Первое из них связано с вопросом о том, - о каких инженерных кадрах идет речь? Этот вопрос крайне важен и мы опишем его воспользовавшись подходом, который исторически развивался в Санкт-Петербургском Политехническом институте, сегодня, Политехническом университете Петра Великого. Этот подход нацелен на основные типы подготовки инженерных кадров, которая определяется характером их будущей деятельности, а это:

- «инженеры по эксплуатации», характер работы которых – эксплуатация машин, систем и технологических линий;

- «инженеры-разработчики», ориентированные на проектирование и конструирование новой техники и технологий и на вопросы обеспечения их эффективной эксплуатации и функционирования;

- «инженеры – исследователи», ориентированные на разработку становящихся все более высокотехнологичными машин, систем и технологий.

Оценка количества выпускников в каждой из названных групп составляет примерно 15, 70 и 15 % от их общего количества, соответственно.

Первая группа, «инженеры по эксплуатации», должна иметь знания в части объема основной группы и здесь мы не будем останавливаться на этой категории выпускников вузов. Представляется, что главное внимание нужно уделить модернизации естественнонаучного образования с рассматриваемых нами позиций двух последних групп, - основной группы, - группы «инженеров-разработчиков», а также группы «инженеров – исследователей», поскольку деятельность именно этих двух групп в большой мере имеет исследовательский и творческий характер.

Говоря о исследовательском и творческом характере деятельности двух последних групп инженеров мы подошли к важнейшему и ключевому с позиций вопросов затронутых в нашей статье. Суть проблемы в том, что сегодня мы можем утверждать, что уже не один год как существо различия между научно-исследовательской и инженерной деятельностью в сфере разработок в высоких технологиях непрерывно стираются. И именно здесь роль суперкомпьютерных технологий становится все больше и больше. Сказанное требует анализа и пояснения.

Если мы говорим о стирании различий между научными исследованиями и инженерными разработками, то, скорее всего, работающему в каждой из названных сфер такая мысль покажется вполне естественной. Действительно, проблемы, например, в прикладной и теоретической аэротермодинамике, как и проблемы, возникающие при изучении свойств вязкоупругих и вязкопластичных сред и разработке изделий из таких материалов практически одинаковы. И, как правило, названные задачи относятся к категории вычислительно ресурсоемких, а значит суперкомпьютерные системы неперенный атрибут, возникающий при их решении.

Но сказанное только начало на пути изучения названного единства кругов естественнонаучных и инженерных задач. В действительности ситуация гораздо сложнее. В реальном физическом мире крыло самолета, при обтекании его потоком набегающего воздуха, деформируется под воздействием распределенного вдоль крыла поля сил давления. То есть, при аккуратном рассмотрении проблемы, мы должны рассматривать уже связанную задачу аэродинамики и теории упругости, которая относится к классу задач аэроупругости. А если крыло обтекается с очень высокими скоростями, то происходит его нагрев и в нашей задаче появляется еще и термодинамическая составляющая. Таким образом, мы видим, что задача приобретает мультидисциплинарный характер и её вычислительная ресурсоемкость чрезвычайно возрастает, поскольку мы должны решать совокупность взаимосвязанных задач аэродинамики, теории упругости и термодинамики. И опять-таки универсальным инструментом здесь являются только суперкомпьютерные системы [10,11].

Здесь во всей полноте встает вопрос о том, а готовы ли «инженеры разработчики» и «инженеры исследователи», выпускаемые нашими техническими вузами к решению задач подобного уровня!?

Мы склонны считать, что выпускники подавляющего большинства технических вузов не готовы к такому серьезному реформатированию постановок задач в сфере инженерных разработок, как их решение в мультидисциплинарной постановке на суперкомпьютерах. Такой вывод нетрудно сделать, например, с учетом такого обстоятельства – число высших техниче-

ских учебных заведений, где читаются дисциплины: математическая физика, методы решения больших систем линейных алгебраических уравнений и прикладные проблемы суперкомпьютерных технологий исчерпывается единицами. А сами суперкомпьютерные системы, хотя и стали появляться во многих вузах, но не всегда полномасштабно используются в учебном процессе.

Все более и более востребованной промышленностью становится и проблема оптимального проектирования - конструирования машин, систем и их элементов. Эта проблема напрямую связана с повышением конкурентоспособности продукции, поскольку с помощью оптимизации мы можем, в частности, построить машины и системы с наилучшими характеристиками [12]. Причем в классе задач оптимального конструирования принципиально не обойтись без суперкомпьютерных технологий. Но, опять - таки, проблематика вариационного исчисления, - основы методов оптимизации, как и сами элементы теории оптимального управления не изучаются в большинстве технических вузов.

Чтобы быть предметными остановимся на рассмотрении обозначенных проблем для какой либо массовой инженерной специальности. Выберем для примера направление подготовки 151600 «Прикладная механика», подробно рассмотренное в работе [8]. Утвержденное Приказом Министерства образования и науки РФ от 9 ноября 2009 г. № 540, 541 в квалификации (степени) выпускников этого направления – «бакалавр» и «магистр» техники и технологий. Отметим также, что само направление «Прикладная механика» относится к укрупненной группе направлений и специальностей «Металлургия, машиностроение и материаловедение». При этом принципиально важно понимать, что названному направлению подготовки инженеров присущи современные черты инновационного инженерного образования – фундаментальная физико-математическая подготовка, мультидисциплинарность и надотраслевой характер), широкое применение передовых технологий компьютерного (суперкомпьютерного) инжиниринга мирового уровня, позволяющих создавать в кратчайшие сроки конкурентоспособную и востребованную на глобальном рынке продукцию нового поколения.

Обратившись к тому, что является объектами профессиональной деятельности магистров направления «Прикладная механика» можно указать, что это:

- **физико-механические процессы и явления**, машины, конструкции, ком-позитные структуры, сооружения, установки, агрегаты, оборудование, при-боры и аппаратура и многие другие объекты современной техники различных отраслей промышленности, топливно-энергетического комплекса, транспорта и строительства, для которых проблемы и задачи прикладной механики являются основными и актуальными и которые для своего изучения и решения требуют разработки и применения технологий математического моделирования на базе компьютерных (суперкомпьютерных) систем;

- **технологии**: наукоемкие компьютерные (суперкомпьютерные) технологии на основе применения передовых CAD/CAE/CAM –технологий (Computer Aided Design/Engineering/Manufacturing) и интегрированных компьютерных технологий жизненного цикла изделий и продукции PLM - технологии (Product Lifecycle Management), информационно-коммуникационные технологии, расчетно-экспериментальные технологии, сочетающие в себе подходы математического и физического эксперимента, разработка сложных цифровых моделей материалов, процессов, систем на основе интеграции научных знаний и применения статистических методов обработки большого количества данных (Big Data), технологии виртуальной реальности, технологии быстрого прототипирования, передовые производственные технологии (технологии создания композиционных материалов, технологии обработки металлов давлением и сварочного производства, технология повышения износостойкости деталей машин и аппаратов, нанотехнологии.

При такой развернутой трактовке подготовки магистров направления «Прикладная механика» выпускники вузов в рамках этого направления, являющиеся как «инженерами-разработчиками», так и «инженерами – исследователями», востребованы широчайшим спектром отраслей промышленности от авиа- и вертолетостроения и автомобилестроения, до электро - и энергомашиностроения. И эта востребованность основывается на непрерывно растущей потребности в кадрах с глубокой естественнонаучной подготовкой.

Подводя итог сказанному выше, мы убеждены, что проблема инженерного образования для цифрового будущего России в большой мере определяется состоянием и развитием фундамен-

тального естественнонаучного образования в высшей технической школе. Непрерывно возрастающая сложность разрабатываемых машин, систем и технологий все более и более требует от инженеров понимания существа концепции математического моделирования, формирования у них видения мультидисциплинарности физических явлений, знания суперкомпьютерных технологий, технологий работы с большими данными и т.д. Все эти знания могут быть получены инженером XXI века только на основе фундаментального естественнонаучного образования. Именно такой взгляд на подготовку инженеров был заложен ровно 100 лет назад основателями Физико – Механического факультета Политехнического института, ныне Политехнического университета.

Литература

1. Болдырев Ю.Я., Боровков А.И., Глухов В.В. Интегрированные информационные технологии инженерного и экономического анализа// Тез. докл. Всероссийской конференции «Интеграция науки и высшего образования России». Самара, Казань. 2001. Ч.2. 139 - 141.
2. М.П. Федоров, Ю.Я. Болдырев, А.И. Боровков, В.А. Пальмов. САЕ - технологии критические технологии Российской Федерации// Труды СПбГПУ Материалы VI Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы «Фундаментальные исследования в технических университетах» СПб.: СПбГПУ, 2002. С.17 - 24.
3. Болдырев Ю.Я., Кудрин Е.Б., Огнев В.В., Рябов Г.Н. Компьютерный инжиниринг – стратегическое направление технологического перевооружения машиностроения России. Москва, Нефтегазовое машиностроение № 3, 2003. стр. 33 - 37.
4. Болдырев Ю.Я. «Программные комплексы для инженерного анализа как важнейшая черта современного высокотехнологичного производства». Энергия промышленного роста, журнал Минпромэнерго, М., № 4, 2005, стр. 4-8.
5. Болдырев Ю.Я. Роль суперкомпьютерных технологий в инженерном образовании Научно-технические ведомости СПбГПУ Информатика. Телекоммуникации. Управление № 162 2012 СПб., Изд-во Политехнического ун-та, С.: 9-15. ISSN: 1994-2354
6. А.И.Боровков, Ю.Я. Болдырев. Суперкомпьютерный инжиниринг- стратегическая платформа развития инженерного образования//Материалы Международной научно-методической конференция «Высокие интеллектуальные технологии и инновации в национальных исследовательских университетах». 5-7 июня 2014 года. Санкт-Петербург - Том 6. Пленарные доклады.- СПб. Издательство политехнического университета. 2014. С.87-92.
7. А.И. Боровков, С.Ф. Бурдаков, О.И. Клявин и др. Современное инженерное образование : учеб. Пособие. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. — 80 с.
8. А.И. Боровков, С.Ф. Бурдаков, О.И. Клявин и др. Компьютерный инжиниринг: учеб. пособие - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. - 93 с.
9. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. — 2-е изд., испр. - М.: Физматлит, 2001 - 320 с. - ISBN 5-9221-0120-X.
10. Абдулгариева Э.Р., Ю.Я. Болдырев, А.И. Боровков, В.И. Жигалов, К.А. Иванова, А.А. Кузнецов и др. «Высокотехнологичный компьютерный инжиниринг: обзор рынков и технологий». РФЯЦ ВНИИЭФ, СПбГПУ, Центр Стратегических Разработок «Северо-Запад», Минпромторг РФ. Доклад. Санкт – Петербург. 2014 г. 106 с.
11. Болдырев Ю.Я., Петухов Е. П. Суперкомпьютерные технологии и их приложения. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, Учебное пособие. 2011, С.92.
12. Ю.Я. Болдырев Вариационное исчисление и методы оптимизации. Учебное пособие. Санкт-Петербург. Издательство политехнического университета. 2016, 240 с.