

**Санкт-Петербургский  
политехнический  
университет**

**«Российские  
суперкомпьютерные  
дни 2021»**

**27 - 28 сентября 2021**

**Москва**



**Ю.Я. Болдырев, В.В.Глухов, О.А.Картавенко**

**«КОМПЕТЕНЦИИ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ В  
ОБЛАСТИ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

## Авторы доклада

Болдырев Юрий Яковлевич, профессор, д.т.н.,

- **Физико-Механический Институт**

Глухов Владимир Викторович, профессор, д.э.н.,

- **руководитель аппарата ректора**

Картавенко Ольга Андреевна

- **соискатель**

К теме подготовки кадров в области суперкомпьютерных технологий мы обращались на нашей конференции в 2019 г. в контексте взаимосвязи между суперкомпьютерными технологиями и цифровой экономикой.

Здесь мы пытаемся посмотреть на проблему подготовки кадров для суперкомпьютерных технологий с системных позиций, а именно с точки зрения взгляда на эту проблему **через призму компетенций**, которые медленно, но входят в обиход высшей школы.

Само понятие компетенции, введено в широкий научный обиход в 80-е годы прошлого столетия американцем В. Макелвиллом и развито французским социологом Г. Каннаком показавшим, что успех организации лежит в росте компетенции каждого работника.

Компетенция исходно определялась как круг проблем, сфера деятельности, в которой данный человек обладает знанием и опытом; полномочиями, правами и обязанностями по должности.

Ранее в 70-е годы, компетенции рассматривали как способность эффективно выполнять определенные действия и увязывали с качеством успешности. Так Европейский фонд образования определяет их как:

- способность делать что-либо хорошо или эффективно;
- соответствие требованиям, предъявляемым при устройстве на работу;
- способность выполнять особые трудовые функции.

Такое определение и понимание компетенций приводит к тому, что приобретение их совокупности выпускником **есть центральная задача высшей школы**. Но встает вопрос о **наборе компетенций**, которые необходимы выпускнику. При этом, важно заметить, что при создании учебных планов по направлениям подготовки на основе построения совокупности компетенций, мы вообще говоря, **можем придать некоторый системный**, количественный характер содержанию самих этих учебных планов, **если найдем способ придать компетенциям количественный** характер.

Круг компетенций, приобретаемых в вузах, широк, а заявленные нами к рассмотрению суперкомпьютерные технологии становятся все более «тотальными». Они, **во-первых, междисциплинарны** и служат универсальным инструментом для изучения и преобразования Природы, к каковому относится, например, деятельность инженерного сообщества; **во-вторых, суперкомпьютерные технологии сегодня** охватили практически все отрасли индустрии и все стороны деятельности человеческого сообщества.

В докладе мы ограничимся высшей технической школой и попытаемся сформировать некоторые позиции в части компетенций, которые важны для освоения студентами суперкомпьютерных технологий.

И здесь мы сразу же сталкиваемся с первой трудностью, которая связана с принципами реализации математической подготовки инженерных кадров. Без неё бессмысленно говорить о суперкомпьютерных технологиях.

Среди упомянутых принципов выделим два, ключевых:

- во-первых, это **принцип учета основных типов деятельности инженерных кадров,**
- во-вторых, **принцип нацеленности математической подготовки инженеров на внедрение и развитие на всех этапах производства передовых производственных технологий.**

Остановимся на этих двух ключевых принципах подробнее в нашем подходе. Что касается **основных типов деятельности инженеров, то здесь мы можем указать три главных направления инженерной подготовки, принятой в нашем Политехническом университете с момента его основания.** Это направления, ориентированные на подготовку:

- «инженеров по эксплуатации», характер работы которых эксплуатация машин, разнообразных систем и технологических линий;
- «инженеров массовых технических специальностей» или «инженеров-разработчиков», ориентированных, как на проектирование и конструирование новой техники и технологий, так и на вопросы обеспечения их эффективной эксплуатации и функционирования;

- «инженеров – исследователей», ориентированных на разработку, становящихся все более высокотехнологичными передовых машин, систем и технологий.

Оценка количества выпускников в каждой из названных групп примерно 15%, 70 и 15% .

Переходя к *принципу нацеленности* математической подготовки инженеров на внедрение и развитие **передовых производственных технологий**, укажем, что он центральный с позиций внедрения суперкомпьютерных технологий в передовую индустрию.

Действительно, **фундаментальной основой всей** инженерной деятельности является естественнонаучное знание, а суперкомпьютерные (компьютерные) технологии имеют математическое моделирование своей базой, что, увы, еще не является признанной нормой. Например, получившее сегодня широкое хождение понятие *цифрового двойника* есть не что иное, как математическая модель изделия или его элемента, некоторой системы или технологии, реализованная в каком-либо программном комплексе или их в совокупности на той или иной вычислительной системе.

Приведем в сжатой форме основные позиции концепции математического моделирования, следуя подходу А.А. Самарского.

**I блок.** Составление математической модели явления, процесса, задачи и т.д. Это предмет естественных и других наук, где составляются количественные соотношения описываемых явлений и процессов. И это область научной деятельности, - основа естественных наук. Её существо некоторой «замены» реального процесса (явления) его математической моделью, то есть описание всех его свойств-характеристик с помощью математических соотношений.

**II блок.** Анализ математической корректности построенной математической модели, описывающей нашу задачу. Сугубо математический блок, включающий решение следующих ключевых подзадач:

- существования решения (решений);
- единственность решения в этом классе;
- устойчивость решения по отношению к возмущению параметров задачи.

**III блок.** Переход от непрерывной математической модели к модели дискретной. Здесь мы, по сути дела, переформулируем нашу задачу и получаем некоторую новую, где присутствует один или несколько параметров, характеризующих новую дискретную задачу и которых не было в исходной задаче. Это предмет Вычислительной математики.

**IV блок.** Анализ математической корректности вновь полученной дискретной задачи (на основе исходной). Это также есть предмет вычислительной математики. Центральный вопрос, - будет ли решение построенной в блоке III дискретной задачи, стремиться к исходной непрерывной задаче?

**V блок.** Написание алгоритма для дискретной задачи, то есть последовательности вычислительных шагов и его перенос на компьютер, - программирование. Этот блок носит совершенно особый характер и его роль, со времени внедрения вычислительных машин в научную и инженерную практику, непрерывно нарастала.

**VI блок.** Отладка программы, то есть её тестирование, получение результатов и их анализ. Назначение этого блока вполне очевидно.

Изложенная схема, конечно, является очень общей и её применение в полном объёме, как правило, функция научной группы или коллектива исследователей.

Но с позиций тех вопросов, которые мы здесь рассматриваем, концепция математического моделирования принципиально важна. При этом в том виде, **в котором она здесь приведена, она не только не изучается, но и не упоминается в высшей школе, хотя именно эта концепция служит стержневой основой, для вводимых ниже, как универсальных, так и профессиональных компетенций.**



Теперь остановимся на текущем состоянии в применении компетенций и основанном на них компетентностном подходе в деятельности современной высшей школы. В основополагающем документе, методических рекомендациях «Проектирование основных образовательных программ, реализующих федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования» (2010 г.), в структуру программ введены экспериментальные программные документы, из которых выделим:

- **паспорта и программы** формирования профессиональных компетенций;
- **компетентностно - ориентированная** часть учебного плана.

На сегодня принята классификации компетенций, разделяющая их на три большие группы:

- **общие или общекультурные,**
- **универсальные,**
- **профессиональные.**

*Универсальные компетенции* непосредственно связаны с умением применять знания в профессиональной деятельности, тогда как *профессиональные компетенции* выражают способность выпускника осуществлять те или иные виды профессиональной деятельности.

**Ключевые компетенции современного инженера** относятся к сфере фундаментальных основ инженерного знания и относятся к классам **универсальных и профессиональных**.

Помня о том, что предназначение труда и, труда инженера, в частности, - преобразование Природы в интересах человека и всего человеческого сообщества, то безусловно краеугольным камнем здесь является естественнонаучное знание: **математика, физика, механика и химия, знание которых мы безусловно должны отнести к универсальным компетенциям**. При этом глубокое знание самих этих ключевых дисциплин, как и знание тех или иных их разделов очевидно должны быть отнесены к **профессиональным компетенциям**.

Нужно попытаться **связать естественнонаучное знание**, с его бесчисленным спектром направлений, с **суперкомпьютерными** технологиями, которые, как указывалось, имеют своей базой, матмоделирование.

С учетом того, что технологии матмоделирования приобрели характер универсального инструментария, представляется, что они должны рассматриваться как **ключевая универсальная компетенция в инженерном образовании**. Естественно, что в первую очередь это касается «инженеров-разработчиков» и «инженеров – исследователей».

Но как концептуально связать приобретение знаний в естественных науках и в методологиях математического моделирования (частью которых и являются суперкомпьютерные технологии) с компетентностным подходом в подготовке инженеров?

И здесь нам необходимо посмотреть, а как реализуется компетентностный подход в вузах страны. При этом, так как тематика компьютерных технологий, а тем более суперкомпьютерных технологий системно никак не отражена в направлениях подготовки инженеров в России, посмотрим на наиболее близкие направления. Таким, очевидно, является направление подготовки магистров «Прикладная математика и информатика» (направление 01.04.02), однако, к сожалению, рассматриваемая здесь тема компетенций не представлена достаточно широко такими ведущими вузами в части суперкомпьютерных технологий, как МГУ им. М.В. Ломоносова и ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

Вместе с тем весьма интересно и содержательно структура компетенций выпускника по магистерской программе «Компьютерные технологии инжиниринга» направления «Информатика и вычислительная техника» представлена в Санкт-Петербургский государственном электротехническом университете (ЛЭТИ им. В.И. Ульянова (Ленина)),<sup>11</sup>

Обратимся к нашему опыту, - опыту СПбПУ, где, безусловно, наиболее интересен блок *профессиональных компетенций* (ПК), при подготовке магистров по направлению «Прикладная математика и информатика» (направление 01.04.02), содержащий четырнадцать позиций ПК-1, ПК-2, ..., ПК-14. Разработчики разделили их на восемь направлений – приложений: *научная и научно-исследовательская деятельность, проектная и производственно-технологическая деятельность и др.*

Выделение именно этих направлений обусловлено тем, что они в наибольшей степени находятся на *острие передовых позиций научно – технического развития*. И здесь, уместно, еще более сузить постановку нашей задачи, а именно рассмотреть формирование системы компетенций для той группы инженеров, которую ранее мы отнесли к *инженерам – исследователям*. При этом очевидно, что именно для этой группы изучение суперкомпьютерных технологий наиболее актуально.

Конкретизируя систему компетенций как совокупность целевых функций для освоения их студентами мы должны обратиться к такой последовательности: *инжиниринг- компьютерные технологии - суперкомпьютерные технологии*, где под инжинирингом понимается весь спектр инженерной деятельности, в той части, которую мы отнесли к деятельности инженеров – исследователей.

При этом мы должны попытаться понять, во – первых, а чем же принципиально отличаются суперкомпьютерные технологии от компьютерных, применительно к исследовательской деятельности? Или обращаясь к компетенциям, - какие новые компетенции привносят суперкомпьютерные технологии в учебный процесс относительно компьютерных?

Эти вопросы оказываются не такими сложными, поскольку универсальное отличие рассматриваемых технологий известно специалистам в области высокопроизводительных вычислений с самого момента их появления. Это отличие реализуется посредством параллельных вычислительных технологий, которые физически реализуются в конструкциях суперкомпьютеров в виде множества объединенных процессоров, а также, в последние, примерно 15 лет, и с использованием многоядерности процессоров.

Но эта особенность суперкомпьютеров является чисто конструктивной и, вообще говоря, никак не затрагивает проблемы подготовки инженерного корпуса, исключая сравнительно узкую прослойку инженеров - разработчиков суперкомпьютеров, а также системного и прикладного ПО к ним.

И здесь возникает вопрос о том, а где инженеры-исследователи могут столкнуться в своей деятельности с параллельными вычислениями?

Это, во-первых, использование программных комплексов для инженерных расчетов

Во – вторых, разработка ПО для решения собственных, то есть поставленных ими задач, с использованием суперкомпьютеров.

Очевидно, что глубокие знания в области параллельных вычислений нужны в первую очередь последней группе инженеров, - разработчиков прикладного ПО, тогда как для массового корпуса инженеров-исследователей они не находятся на первом плане.

Таким образом к разряду профессиональных компетенций в части содержащей направления – приложения по научной и научно - исследовательской деятельности мы должны отнести «...компетенции мирового уровня в области передовых параллельных вычислительных технологий...».

Эта компетенция актуальна и важна и, безусловно, должна стать одной из ключевых при подготовке передового отряда инженеров – исследователей.

Вместе с тем непрерывно растущий уровень в постановках задач реальной инженерной практики, связанный, как правило, с потребностями в описании сложных процессов в Природе, *междисциплинарных* и *многомасштабных* процессов в изделиях, системах и технологиях придает совершенно новую значимость суперкомпьютерным технологиям.

Здесь имеется в виду то, что только они, как уже указывалось, являясь универсальным и уникальным инструментарием, позволяют решать такого рода задачи.

Но отсюда мы можем сделать вывод о том, что освоение самих подходов к постановке и решению *междисциплинарных задач*, прямо связанных с суперкомпьютерными технологиями, является назревшей проблемой в учебном процессе и должно быть отнесено к категории *профессиональных компетенций*. И здесь следует продумать формирование направления подготовки, которое естественно назвать *«Суперкомпьютерный инжиниринг»*, при этом возникает крайне важная и интересная задача баланса специальных дисциплин области применения и *профильных суперкомпьютерных дисциплин*. Такое направление подготовки будет служить продолжением и развитием направления *«Компьютерный инжиниринг»*, формирование которого необходимо было реализовать уже достаточно давно.

Что же **касается многомасштабных задач**, то под ними мы понимаем задачи, в которых геометрические масштабы процессов могут разниться на многие порядки (от нано и много-много выше).

Вместе с тем названная только что тема **междисциплинарных и многомасштабных** задач и развитие в этом направлении проблематики суперкомпьютерных технологий заставляет совершенно по-новому посмотреть на сами концептуальные основы решения подобного рода задач, которыми изобилуют природные явления и каждая глубокая научно-техническая разработка.

Более того, в наше время, мы, по-видимому, находимся в «точке роста и формирования» совершенно нового взгляда не только на развитие производства в человеческом сообществе, но и на начальном этапе его реализации. И все это, безусловно потребует серьёзной, если не кардинальной смены самого существа учебного процесса в высшей школе, а стало быть и всей совокупности компетенций в этом процессе.

Попробуем посмотреть на эту проблему с позиции формирования среды «Суперкомпьютерного инжиниринга», памятуя о том, что само понятие *инжиниринга* есть некоторая область человеческой деятельности и связанных с ней процессов, существо которых разработка и проектирование изделий и их элементов, создание технических и иных систем или технологий, разработка систем по поддержанию их жизненного цикла вплоть до переработки или утилизации.



Неустанно подчеркивая, что фундаментом этой деятельности является современное математическое моделирование на основе суперкомпьютеров, укажем, что направления Суперкомпьютерного инжиниринга уже сегодня для своего перечисления требуют привести не один десяток наименований, от авиакосмического и механического инжиниринга до био-инжиниринга и инжиниринга в области продуктов питания.

Но инженерные задачи, возникающие здесь, являются как правило междисциплинарными в своей постановке и требуют очень больших вычислительных ресурсов, поскольку в их основе лежит постановка совокупности связанных начально краевых или краевых задач математической физики. Например, задачи горения, – это связка задач аэрогидродинамики, тепло и массообмена, излучения и, наконец, физико – химической кинетики.

Думается, что в самое ближайшее время в индустриальной среде должны появиться такие среды Суперкомпьютерного инжиниринга, которые будут решать весь спектр задач производственного цикла с учетом междисциплинарности, многомасштабности и множества технологических процессов производства.

Эти подходы в свою очередь будут способствовать переходу на новый качественный уровень самих процессов инженерного анализа и проектирования на основе оптимизации конструкций и узлов, включая многокритериальную оптимизацию и оптимизацию технологических процессов.

Естественно, что в такого рода классах задач без суперкомпьютеров не обойтись. На этих путях уже происходит создание сред проектирования и оптимизации с расширением до производства продукции и переходом к виртуальной разработке изделий с использованием суперкомпьютеров. Последние технологии ведут к разработке «цифровых прототипов» – виртуальной цифровой пространственной (реальной) модели изделия и всех его компонентов, позволяя исключить из процесса разработки создание дорогостоящих натуральных моделей-прототипов, и предоставляя разработчикам точно оценивать и моделировать любые характеристики объекта в любых условиях эксплуатации. А это уже путь к «цифровому производству» – как основному компоненту передовых заводов и фабрик.

С позиций рассматриваемого здесь компетентностного подхода есть еще одно обстоятельство, изучение которого с позиций учебного процесса в вузах представляет значительный интерес. Речь идет о том, что в последние десятилетия стала все более и более размываться граница между естественнонаучным и инженерным знанием. Трудность инженерных задач, рассматриваемых, например, в аэрогидродинамике, такова, что непосредственно связана с теоретическими проблемами разработки моделей турбулентности. И с позиций характера компетенций необходимо продумать как соотносятся здесь универсальные и профессиональные компетенции.

**БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ**