

DOI: 10.7868/S0869587315020061

Развитие информационных и вычислительных технологий — один из важнейших объектов прогнозно-плановой деятельности государства. В России такая деятельность проводится, но её эффективность заслуживает отдельного обсуждения. Как отмечает автор публикуемой статьи, в этой области сейчас открывается целый ряд многообещающих перспектив, но разработка стратегии возможна только на основе тщательного профессионального анализа складывающихся тенденций.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА: МИРОВЫЕ ВЫЗОВЫ И РОССИЙСКАЯ “ДОРОЖНАЯ КАРТА”

В.П. Ильин

Страна, желающая победить в конкуренции,
должна победить в вычислениях.

*Д. Винс-Смит,
президент Совета по конкурентоспособности США*

Математика — служанка, золушка или царица наук? Последние годы стали периодом бурной суперкомпьютеризации России. Об этом свидетельствуют различные внешние показатели. Так, об информационных технологиях (ИТ) очень много пишут в СМИ, с каждым годом увеличивается количество научных конференций, школ и форумов по суперкомпьютерным технологиям (СКТ). В разных регионах страны появляются всё новые многопроцессорные вычислительные системы (МВС) со стремительно растущими характеристиками быстродействия. Небывалыми темпами развивается индустрия компьютерных игр. Наибольшая организационная активность исходит от возглавляемого академиком В.А. Садовничим и членом-корреспондентом РАН В.В. Воеводи-

ным Суперкомпьютерного консорциума университетов России, основанного в 2008 г. и включающего около 60 постоянных и ассоциированных членов, среди которых ведущие вузы страны, институты РАН, а также коммерческие компании, лидирующие в области СКТ. По инициативе консорциума выпускаются книги и аналитические обзоры, а в 2010–2012 гг. усилием его членов был осуществлён проект Комиссии при Президенте РФ по модернизации и технологическому развитию экономики России, получивший название “Суперкомпьютерное образование”. В рамках этого проекта создана сеть научно-образовательных центров суперкомпьютерных технологий (НОЦ СКТ) на базе восьми университетов по всем федеральным округам России, разработаны Сводный перечень знаний и умений (компетенций), учебные курсы и программы повышения квалификации, проведены многочисленные образовательные мероприятия, к освещению которых широко привлекались средства массовой информации. Создан интернет-портал PARALLEL.RU, представляющий пользователям большой объём отечественных и мировых новостей. На этом портале, в частности, два раза в год обновляется рейтинг 50 самых мощных компьютеров, функционирующих на территории нашей страны.

В декабре 2013 г. были опубликованы два важных официальных документа, оставшиеся мало-замеченными на фоне яростной борьбы Мини-



ИЛЬИН Валерий Павлович — доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, профессор Новосибирского государственного университета. ilin@sscc.ru

стерства образования и науки РФ с Российской академией наук. Первый — это план мероприятий (“дорожная карта”) “Развитие отрасли информационных технологий”, утверждённый распоряжением Правительства РФ от 30 декабря 2013 г. и размещённый на правительственном сайте 8 января 2014 г. [1]. Данный документ занимает 27 страниц и охватывает период с 2014 по 2018 г. Он разработан в целях реализации “Стратегии развития отрасли информационных технологий в Российской Федерации на 2014–2020 годы и на перспективу до 2025 года” [2], утверждённой Правительством РФ 1 ноября 2013 г. “Дорожная карта” включает 6 разделов, содержащих описание плана всех мероприятий и отдельно планов по развитию инфраструктуры, системы подготовки и повышения квалификации специалистов, по совершенствованию институциональных условий ведения бизнеса, по созданию информационно-аналитической базы ИТ-отрасли, а также мер общего характера. К последним относятся, в частности, разработка и реализация подпрограммы “Развитие отрасли информационных технологий” государственной программы РФ “Информационное общество (2011–2020 годы)”. Исполнителями данных работ определены Минкомсвязь, Минфин, Минобрнауки и Минэкономразвития России.

Примечательно, что в материалах Суперкомпьютерного консорциума и “дорожной карте” можно обнаружить общие пробелы: практически не представлена фундаментальная составляющая супервычислений и математического моделирования, не прослеживается научно-организующая или хотя бы экспертная роль Российской академии наук в СКТ- и ИТ-отраслях экономики, ничего не говорится о создании суперкомпьютеров новых поколений. Вместе с тем без освещения этих вопросов невозможно серьёзно обсуждать какие-либо перспективы и планы.

Второй документ, появившийся в конце 2013 г., — “Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года” [3]. Первый и самый большой по объёму из семи разделов посвящён информационно-коммуникационным технологиям. В развёрнутом введении перечисляются угрозы национальной безопасности страны, указываются перспективные рынки, продукты и услуги, а также соответствующие направления научных исследований: компьютерные архитектуры и системы, телекоммуникационные технологии, технологии обработки и анализа информации, элементная база и электронные устройства, предсказательное моделирование, информационная безопасность, алгоритмы и программное обеспечение.

В прогнозе, в отличие от “дорожной карты”, не говорится о конкретных планируемых мероприятиях и сроках. Например, в качестве ожидае-

мых результатов в области предсказательного моделирования называется разработка прототипов программных комплексов моделирования сложных технических, социально-экономических, политических, транспортных и других систем, а также свойств физических, химических, биологических и других объектов с выходом на уровень гарантированной точности, недостижимой в настоящее время, и прототипов программных систем с реализацией гибридных моделей когнитивных механизмов, с моделированием человеческого интеллекта и устройств с новыми принципами взаимодействия “человек–компьютер”.

Среди выявленных перспектив интерес представляет создание прототипов систем программирования, реализующих новые и объединяющие существующие парадигмы, в том числе объектно-ориентированные, функциональные, логические, языки спецификаций, “программирование без программиста”, естественные языки, а также новые модели организации параллельных алгоритмов и принципов распределённых вычислений на базе сети компьютеров и мобильных устройств.

Одновременно прогноз несколько удивляет скромностью ожидаемых результатов, предполагая появление через 16 лет только прототипов программных систем, а не реально функционирующих производственных комплексов математического моделирования, востребованных широким кругом пользователей и обеспечиваемых эффективной инфраструктурой эксплуатационной поддержки. Больше же всего поражает тот факт, что в данном прогностическом документе забыта математика, являющаяся и служанкой, и царицей всех наук. Прогресс в любой научно-технической области тесно связан с уровнем её математизации, что можно выразить знаменитой фразой “Нет ничего более практичного, чем хорошая теория”. Теоретическая и вычислительная математика, программная реализация алгоритмов и их использование в численном эксперименте для моделирования реальных процессов и явлений — это четыре неразрывно связанные составляющие целостной математической культуры. Развивать одну в ущерб другой означает нарушать гармонию эволюции единого организма. Конечно, проведение фундаментальных исследований в области математики и разработка технологий супервычислений относятся к совершенно разным профессиям, но их сосуществование представляет собой стратегически важный симбиоз, поддержание которого требует особого внимания и организационного подхода.

Аналогичные замечания можно сделать в адрес различных размещённых в Интернете документов, в частности, регламентирующих деятельность Национальной программной платформы и Национальной суперкомпьютерной технологической платформы. Они производят впечатление

бумаготворческих деклараций о намерениях, не подкреплённых инфраструктурными или организационными решениями, соответствующими уровню проектов государственного масштаба.

Академик В.И. Арнольд в своих книгах и статьях много писал о том, что теоретическая математика и теоретическая физика, по сути, представляют собой одну науку, а разрыв между ними, который может образоваться при кризисе методологии наук и образования, — это трагедия для всего общества. Данный тезис верен, на мой взгляд, и в отношении различных вычислительных наук. Сегодня понятия “суперкомпьютерные технологии” и “информационные технологии” во многом отождествляются, а такие суперпроекты, как САПР (Система автоматизированного проектирования), ГЛОНАСС, “умный дом” (или “умный город”), “электронное правительство”, в которых информационные процессы превалируют над вычислительными, успешно пропагандируются. Однако хранение или передача данных и выполнение арифметических действий — это две разные составляющие ресурсоёмкости, или производительности, ЭВМ, которая характеризуется быстродействием выполнения операций и объёмом памяти. Цель и содержание наукоёмких супервычислений — моделирование реальных процессов и явлений, и именно оно является конечным этапом математических исследований, когда их результаты воплощаются в продукты, позволяющие удовлетворять насущные потребности общества.

В силу приведённых соображений представляется целесообразным сделать терминологическое уточнение и ввести понятие “вычислительно-информационные технологии” (ВИТ), дополняющее в определённом смысле содержание термина “суперкомпьютерные технологии”. ВИТ представляют собой обособленную группу исследований и разработок, не связанных с техническими вопросами разработки ЭВМ и телекоммуникаций, со специальными проблемами обработки и хранения больших объёмов данных (big data), и входят в состав более широкой совокупности специальных видов научно-технической деятельности, получившей название “информационные технологии”.

Общемировые тенденции развития супервычислений. Прогресс вычислительных наук в России — неотъемлемая часть мировой эволюции Computer Science, и это обуславливает необходимость при прогнозировании перспектив СКТ в нашей стране опираться на выявление и анализ складывающихся общемировых тенденций. Для этого нужно определить те факторы, которые характеризуют развитие компьютерной техники, программного обеспечения, прикладной и вычислительной математики, а также технологий математического моделирования реальных процессов и явлений.

Прежде всего отметим, что в течение последних 50–40 лет рост вычислительных мощностей шёл в соответствии с экспоненциальным законом Мура: переходы от гигафлопсных компьютеров к терафлопсным и от терафлопсных к петафлопсным (к 2008 г. был достигнут уровень в 10^{15} ф/с, то есть 10^{15} арифметических операций в секунду) осуществлялись за одинаковые периоды в 11 лет. Исходя из предположения, что и в последующие годы темпы не будут снижаться, можно сделать вывод: в 2019 г. появится эксафлопсный (производительность 10^{18} ф/с) суперкомпьютер с числом процессоров и ядер порядка нескольких сотен миллионов. При этом не произойдёт принципиального изменения архитектуры и частоты кластеров с применением гетерогенных вычислительных узлов с графическими ускорителями и реконфигурируемыми устройствами. Ресурсы будут концентрироваться в больших Вычислительных центрах коллективного пользования (ВЦКП, или Data Centers) с удалённым доступом пользователей к “вычислительным облакам” и при активном интегрировании компьютерных мощностей на основе сетевых технологий (Grid computing). Такая инфраструктура, с одной стороны, освободит отраслевые предприятия от необходимости значительного наращивания своих вычислительных мощностей, с другой — обострит вопрос о создании серьёзной суперкомпьютерной индустрии, поскольку уже сейчас петафлопсный ВЦКП потребляет до 5 МВт электроэнергии, а в ближайшем будущем сверхзадачей конструкторов станет снижение энергопотребления “эксафлопсника” от пессимистических 100 МВт до 20 МВт.

Вторым принципиальным фактором развития вычислительных наук является смена парадигмы программирования, к качественным изменениям которой неизбежно ведёт драматический рост количества вычислительных процессов. В настоящее время вычислительные методы и технологии претерпевают коренную ломку основных понятийных подходов и не могут рассматриваться без масштабируемого распараллеливания и отображения алгоритмов на архитектуры многопроцессорных вычислительных систем с разнообразными арифметическими устройствами и иерархической организацией памяти. Изменение масштабов распараллеливания на три и более порядка означает переход количества в качество, что требует обновления множества программных продуктов и самих технологических принципов. Огромные объёмы операций и данных создают новые проблемы и методологии (Intensive Data Computing, Data Mining и др.). Становится очевидным, что предстоящие работы выполнимы только в условиях реализации концепции открытых инноваций и открытых систем (Open Source), то есть требуется

глобальная интеграция и координация усилий мирового суперкомпьютерного сообщества.

Третий фактор – сложившийся к настоящему времени кризис программирования, выражающийся в том числе в недостаточном уровне производительности труда программистов. Повысить её возможно, усилив автоматизацию и интеллектуализацию построения алгоритмов, активно конструируя и используя проблемно ориентированные языки. Образно говоря, нужно осуществить переход от палеоинформатики к неоинформатике, что также подразумевает разработку моделей и методов принятия решений на основе онтологии профессиональной деятельности.

Не стоит забывать и о том, что в эпоху всеобщей компьютеризации происходит не менее значимый рост результатов в теоретической математике. Приложения этих результатов в различных областях (теория групп, гамильтонова механика, дифференциальная геометрия и т.п.) становятся основой для формирования новой вычислительной математики. Данный процесс, безусловно, будет носить перманентный характер, в силу чего проектируемое прикладное программное обеспечение должно быть рассчитано на длительный жизненный цикл, чтобы удовлетворять требованиям не только адаптивности к новым архитектурам ЭВМ, но и естественного интенсивного расширения состава реализуемых моделей и алгоритмов.

Грандиозное наращивание суперкомпьютерных мощностей одновременно сопровождается не менее удивительным усилением востребованности машинных ресурсов для решения больших задач. Во-первых, современные проблемы являются преимущественно междисциплинарными, требующими расчётов взаимодействующих процессов различной природы, описываемых системами дифференциальных и/или интегральных уравнений. Во-вторых, численное решение реальных начально-краевых задач требует адекватности моделей и высокого разрешения алгоритмов для обеспечения гарантированной точности компьютерных результатов. Непростое положение, обусловленное двумя названными факторами, как правило, усугубляется сложными многомерными и разномасштабными конфигурациями геометрических объектов, а также контрастными материальными свойствами сред и жёсткими динамическими характеристиками процессов. Всё это в совокупности приводит к отличающимся огромными размерностями дискретизованным алгебраическим системам, в которых число степеней свободы достигает 10^8 – 10^{10} . Наконец, значительное увеличение требуемых вычислительных ресурсов вызвано тем, что итоговой целью моделирования для конечного пользователя – профессионала в своей предметной области – является

решение не прямых, а обратных задач, в которых параметризованные исходные данные надо оптимизировать путём условной минимизации задаваемого целевого функционала, имеющего в сложных практических случаях многоэкстремальный овражный характер.

Последний, шестой фактор, стимулирующий развитие вычислительных технологий, – активное развитие нано-, био- и прочих прорывных технологий. Оно делает математическое моделирование главным орудием получения новых фундаментальных знаний и кардинального повышения эффективности промышленного производства. “Модельер”, вооружённый интеллектуальным вычислительно-информационным обеспечением, – образ, приходящий на смену образу физика-теоретика или инженера с ручкой, толстыми справочниками, листом бумаги и логарифмической линейкой, и наглядное компьютерное представление реальности в такой ситуации призвано стать естественным дополнением или заменой натурного эксперимента.

За последние десятилетия человечество пережило два технологических потрясения, резко изменивших традиционный образ жизни. Первое связано с появлением Интернета, второе – мобильного телефона. Можно задаться вопросом: что будет третьим в этом ряду резонирующих нововведений? Мой ответ: следующим будет глобальное, или тотальное, моделирование. С его внедрением в повседневную жизнь человек, принимающий какое-либо решение, сможет, используя смартфон, узнать о последствиях (результатах) тех или иных своих действий. Задача, которая может быть вычислительно очень сложной, будет передаваться через Интернет на суперкомпьютерное “облако”, быстро решаться, после чего пользователь получит наглядный ответ. Более того, взаимодействие человек–компьютер естественно организовать в игровом ключе, только не с целью развлечения, а для решения насущных проблем.

Концепция интегрированных программных окружений. Чтобы нарисованная в предыдущем разделе полуфантастическая картина массовой востребованности и использования моделирования стала реальностью, профессиональному сообществу математиков и программистов предстоит проделать огромную работу по созданию инфраструктуры “облачных” расчётов. На этом этапе развития спектр суперкомпьютерных услуг уже не будет ограничиваться предоставлением машинных ресурсов, включив интегрированную инструментальную среду, обеспечивающую технологическую поддержку всех этапов крупномасштабного вычислительного эксперимента, закрывая от конечного пользователя “внутреннюю кухню” и предоставляя ему удобный профессионально-ориентированный интерфейс.

Фактически речь идёт о смене концепции процесса разработки и эксплуатации прикладного программного обеспечения. В настоящее время сложился миллиардный рынок коммерческих прикладных программных продуктов, вроде широко используемых за рубежом и в нашей стране пакетов прикладных программ (ППП) NASTRAN или ANSYS, позволяющих на протяжении уже многих лет достаточно эффективно решать определённые классы задач. Главные недостатки таких разработок — их высокая цена и “закрытость” от пользователя, делающие практически невозможным их развитие сторонними заинтересованными группами. Помимо этого, имеется большое количество общедоступных библиотек и пакетов программ, которые в основном ориентированы на конкретные классы алгоритмов и могут применяться как вспомогательные инструментари.

В последние годы наметилась тенденция создания универсальных открытых программных окружений, таких как системы OpenFOAM и DUNE (Distributed Unified Numerical Environment). Это формирует необходимые условия для объединения и координации усилий различных групп разработчиков, благодаря чему решается давно назревшая проблема организации новых вариантов использования внешних программных продуктов, представляющих в совокупности огромную интеллектуальную ценность.

Дальнейшее развитие данной концепции заложено в проекте Базовой системы моделирования (БСМ), в течение ряда лет разрабатываемой в Институте вычислительной математики и математической геофизики СО РАН [4]. Система ориентирована на поддержку всех основных этапов математического моделирования, включая прямые и обратные междисциплинарные задачи наукоёмкого характера из самых разных предметных областей. Ввиду такой широкой функциональной направленности ядро БСМ включает несколько блоков, каждый из которых представляет собой автономно развиваемую и естественным образом расширяемую подсистему, взаимодействующую с другими через гибкие, согласованные, допускающие множественные представления со взаимной конвертацией структуры данных (в соответствии с классическим лозунгом Н. Вирта: “Программа = алгоритмы + структура данных”).

Первый блок — геометрическое и функциональное моделирование, определяющее уровень автоматизации построения математических моделей и интеллектуальности пользовательского интерфейса, а также взаимодействие с внешними, графическими и САПРовскими продуктами. Итоговая информация обо всех математических объектах, об их взаимосвязях, однозначно определяющая постановку исходной задачи, представляется геометрической и функциональной

структурами данных (ГСД и ФСД), обеспечивающими связь внутренних интерфейсов с остальными компонентами ядра БСМ и взаимную конвертацию форматов, используемых внешними программными разработками.

Следующая подсистема отвечает за генерацию адаптивных неструктурированных многомерных сеток в областях со сложной конфигурацией кусочно-гладких границ. Тем самым поддерживаются разнообразные типы конечных элементов, контроль качества, современные многосеточные и декомпозиционные подходы. Такая технология является ключевой для успешного вычислительного эксперимента в реальных задачах со сложными конфигурациями областей и контрастными свойствами материальных сред. Особо следует подчеркнуть, что на данной стадии допускается применение как собственных, так и внешних генераторов сеток, а результирующая информация представляется сеточной структурой данных (ССД), которая в совокупности с ГСД и ФСД отображает свойства решаемой задачи уже на дискретном уровне.

Ещё один, наиболее теоретизированный этап работы БСМ, обеспечиваемый функционированием отдельной подсистемы, — аппроксимация решаемых систем дифференциальных и/или интегральных уравнений, отвечающая за точность численных результатов и представляющая собой бурно развивающуюся область математики. Программистское решение для воплощения такой аппроксимации заключается в реализации машинных символьных вычислений, что существенно повышает уровень автоматизации построения алгоритмов и имеет большое значение для роста производительности программного труда, особенно при реализации актуальных методов высокой точности. Конечным результатом данной стадии является алгебраическая структура данных (АСД).

Самая ресурсоёмкая стадия — численное решение сверхбольших систем получаемых линейных и нелинейных алгебраических уравнений. Здесь трудоёмкость алгоритмов сильно увеличивается с ростом порядка, и для обеспечения масштабируемого распараллеливания расчётов требуется эффективное отображение структуры алгоритмов на архитектуру ЭВМ, предполагающее тонкое знание особенностей работы арифметических и коммуникационных устройств.

Пятая подсистема — это оптимизационные алгоритмы условной минимизации функционалов для решения обратных задач. Данная область вычислительной математики претерпела революционные изменения в последние десятилетия, и инновационные программистские решения здесь особенно важны, поскольку каждый эксперимент связан с решениями множества прямых задач.

Последний функциональный блок отвечает за конечную обработку и визуализацию результатов, благодаря чему реализуется обратная связь компьютера с человеком. При необходимости качественного графического анализа этот этап является экстремально ресурсоёмким и требует массивного параллелизма. К счастью, успешного решения зачастую можно достичь исключительно путём грамотного использования существующих профессиональных графических систем.

Перечисленные этапы работы БСМ и соответствующие им подсистемы (блоки) можно дополнить подсистемой принятия решений по результатам вычислительного эксперимента. Именно процедура принятия решений, в числе прочих функций осуществляемая БСМ, является наивысшей точкой развития математического моделирования и должна определять его практическую востребованность.

Каждый из рассмотренных блоков предполагает решение как фундаментальных, так и чисто программистских проблем, а конечный успех разработки может быть достигнут только при условии тесного взаимодействия специалистов из разных областей. Разумеется, итоговый продукт, ориентированный на широкую эксплуатацию, ничего общего не имеет с научно-исследовательской разработкой и должен создаваться не академическими институтами, а в недрах производственных коллективов, работающих по строгим регламентам и согласованным технологиям. Вместе с тем нельзя забывать и об обратной стороне этого процесса: реализация наукоёмкого конкурентоспособного прикладного программного обеспечения невозможна без активного участия квалифицированного математика-вычислителя.

Описанное выше ядро БСМ представляет собой функциональное наполнение, определяющее набор решаемых задач, реализуемых моделей и применяемых алгоритмов, то есть предметную область проекта. Подчеркнём, что ядро является открытой системой, компоненты которой доступны в форме исходного программного кода, а его содержание может пополняться сторонними разработчиками при соблюдении определённых норм и стандартов. Помимо функционального, в качестве второй составляющей БСМ включает системное наполнение, поддерживающее необходимые операции формирования конфигураций программных компонент, организацию внешних и внутренних интерфейсов, а также сборку прикладных программных продуктов для конкретных приложений. Сюда же следует отнести систему автоматизации тестирования, апробации и верификации алгоритмов и программ, включающую наборы пробных задач и методических примеров для различных вычислительных стадий. Наконец, третий компонент БСМ — это совокупность пакетов программ, конструируемых из модулей ядра и

ориентированных на автономную эксплуатацию пользователями, являющимися профессионалами в своих предметных областях, но не в вычислительной информатике. Отметим, что генерируемые пакеты прикладных программ, в отличие от самой БСМ, могут быть закрытыми или доступными только по лицензии.

Рассмотренный суперпроект подтверждает известную истину, что “новое — это хорошо забытое старое”. Дискуссии о необходимости перехода практики прикладного программирования от “кустарного” подхода к индустриальному велись ещё лет 40 назад. Однако нынешняя ситуация с драматическим усложнением математических методов, а также компьютерных, программных и вычислительных технологий делает невозможным ситуацию, когда один человек — “и швец, и жнец, и на дуде игрец”. Можно предположить, что чем уже специализация профессионала, тем выше будет качество его труда. Но когда сильно возрастает число узких специалистов, участвующих в одной общей разработке, возникает проблема эффективного согласования действий исполнителей, и здесь требуется какое-то гениальное изобретение — нечто вроде конвейера, революционного нововведения П. Форда в автомобилестроении в начале XX в.

Проблемы индустриализации математического моделирования. Согласно “дорожной карте” “Развитие отрасли информационных технологий” предполагается, что темпы роста отечественной ИТ-отрасли будут не менее чем в 3 раза превышать среднее значение динамики внутреннего валового продукта, а количество высокотехнологичных рабочих мест должно к 2018 г. удвоиться и достичь 600 тыс. При этом объём производства российской ИТ-продукции должен вырасти с 270 до 450 млрд. руб., активно содействуя за счёт удвоения экспорта продукции и услуг снижению зависимости экономики страны от сырьевого экспорта, а благодаря ускоренному внедрению информационных технологий в другие отрасли экономики, способствуя повышению производительности труда в России.

Если говорить не обо всей ИТ-отрасли, а только о сфере наукоёмких супервычислений и математического моделирования, обсуждение проблем и перспектив приобретёт более конкретный характер. Прежде всего надо напомнить общепризнанный факт: разработка прикладного программного обеспечения (мы не будем говорить об операционных системах, компиляторах и других инструментах общего назначения) стоит примерно столько же, сколько сам компьютер, хотя процесс тиражирования данных продуктов — и это тоже необходимо принимать в расчёт — практически бесплатен.

Возвращаясь к идее интегрированной системы математического моделирования, частным случа-

ем реализации которой является описанная в предыдущем разделе БСМ, и рассмотрению инфраструктуры такой системы, в первую очередь подчеркнём, что её создание не есть задача, стоящая перед одной или несколькими группами специалистов. Разработка подобной системы может быть реализована только как проект вычислительного сообщества в целом, основанный на координации действий профессионалов самого разного профиля. Очевидна необходимость наличия трёх основных контингентов участников: разработчиков, менеджеров и пользователей.

Если изобразить кадровую палитру более детально, то она окажется чрезвычайно пёстрой, а лучше сказать, многокрасочной. Например, разработчиков можно классифицировать по разным типам признаков и получить таким образом “манхэттенскую” структуру. С одной стороны, их можно разбить по профессиональной ориентации на математиков-вычислителей, прикладных программистов и системщиков, с другой — по типам задач (электромагнетизм, упругопластичность, гидрогазодинамика), или по классам алгоритмов (специалисты по сеткам, по методам аппроксимации, по алгебраическим решателям), или по предметным областям (энергетика, машиностроение, материаловедение, природопользование). Все очерченные классификации оправданны, так как найти в нынешнее время всезнайку-энциклопедиста крайне маловероятно.

Пользователей ППП, естественно, проще всего распределить по областям приложений, хотя и здесь картину можно сильно усложнить, учитывая их квалификацию в алгоритмах и программировании или возможности решения комплексных проблем.

Что касается менеджеров, под которыми я в данном случае подразумеваю посредников между разработчиками и пользователями, то их функции могут варьироваться от роли маленького винтика в механизме взаимодействия участников до главенствующей роли во всей инфраструктуре БСМ. Во-первых, менеджеры будут выступать в качестве дистрибьюторов готового продукта, целью которых является поиск заинтересованного покупателя. Во-вторых, они могут решать и намного более сложные задачи, когда, наоборот, требуется проанализировать потребности определённой отрасли и найти потенциального исполнителя заказа. Дополнительные трудности будут связаны с тем, что первоначально заказ, как правило, не отличается чёткой формулировкой желаемого результата, тем более не учитывает технологических возможностей и требует многократного уточнения и согласования. Наконец, представим образ идеального менеджера, работающего без собственной команды разработчиков в режиме абсолютного аутсорсинга, когда составляется полный каталог видов работ и их взаимодей-

ствий, а затем все они распределяются среди различных групп сторонних исполнителей.

Относительно контингента “супервычислителей”, или “модельеров”, для определения специализации которых пока не существует сложившегося термина, нужно подчеркнуть, что все они должны обладать большим объёмом знаний и компетенцией, то есть тем, что уже сейчас называется “суперкомпьютерным образованием”. Подготовка сотен тысяч таких специалистов в масштабах страны — серьёзная проблема, не решаемая за один-два года. Фактически речь идёт о формировании нового поколения работников, которое будет пронизывать все производственные сферы и появление которых будет иметь значительные социальные последствия. В публикациях и дискуссиях на различных форумах такая экспансия вычислительно-информационных технологий связывается с переходом к шестому технологическому укладу, означающему внедрение в повседневную практику принципиально новых научно-технических решений. В этом отношении перед нашей ВИТ-отраслью стоят совсем не простые задачи. Нельзя забывать о значительном отставании в этой области от передовых стран. Так, в списке ТОП-500 мощнейших мировых суперкомпьютеров российских всего шесть, да и те в основном собраны на импортной элементной базе. Не лучше обстоит дело с программным обеспечением, как системным, так и прикладным, — вклад России в многомиллиардный рынок продуктов составляет доли процента.

Тем не менее имеющийся на сегодня интеллектуальный потенциал, необходимость обеспечения национальной безопасности, а также наметившийся общий кризис традиционных программных технологий предоставляют отечественной ВИТ-отрасли исторический шанс. Поэтому следует разработать стратегический план опережающего развития, с тем чтобы “вскочить на подножку уходящего экспресса”. Иначе мы отстанем навсегда.

Конечно, сложившаяся ситуация в российском бизнесе и экономической политике представляет объективные трудности и требует политических решений для успешного продвижения в обозначенном направлении. Необходимо, перенимая опыт передовых стран, ввести реальное государственное стимулирование и налоговые льготы для финансовых вложений в фундаментальную и отраслевую науку. Их отсутствие делает очень проблематичной перспективу убедить крупного предпринимателя в целесообразности серьёзных затрат на развитие наукоёмких производств при наличии определённых рисков. Наивно рассчитывать, что рынок сам по себе эволюционирует в сторону быстрого прогресса суперкомпьютерных новаций и массового моделирования.

Справедливости ради надо сказать, что российское вычислительное сообщество в долгу перед промышленностью, поскольку программного продукта, готового к эффективному использованию на отраслевых предприятиях, на текущий момент фактически не существует. Имеются отдельные исключения, не меняющие общую картину, а только подтверждающие, что последствия разрушительного постсоветского периода до сих пор не преодолены.

В результате двух обозначенных тенденций образовался своего рода порочный круг: отечественные разработки не могут развиваться ввиду отсутствия востребованности в среде предпринимателей, а последние не имеют выгодных предложений по причине недостаточного качества имеющихся наукоёмких продуктов. Причина такого положения заключается в том, что в России до сих пор не сложилась инфраструктура индустрии математического моделирования. Лозунг “наука должна зарабатывать”, получивший в наши дни широкое распространение, оказывает пагубное влияние на науку и технический прогресс, если только не раскрыть его возможную здравую интерпретацию. Миссией академического института или университета не является проведение опытно-конструкторских разработок и тем более промышленное производство. Поэтому формирование отрасли фактически “с нуля” необходимо организовать, и это требуется в ситуации с развитием вычислительно-информационных технологий в России. Нужно организовать сеть, как минимум, из нескольких сот профессиональных организаций, включающих десятки девелоперов и дистрибьютеров (то есть разработчиков и распространителей), ответственных за создание коммерческого программного обеспечения и доведения его до потенциальных пользователей. Такая ВИТ-сеть, очевидно, должна иметь внутреннюю координирующую организацию. В советские времена существовал Государственный фонд алгоритмов и программ со слабовыраженными функциями, но всё-таки осуществлявший некоторую информационно-организационную работу, а также Госстандарт, выпускавший обязательные ГОСТы Единой системы программной документации. Какие-то аналогичные регламентирующие структуры в Российской Федерации обязательно придётся учреждать, и чем раньше, тем лучше. Они, безусловно, должны активно сотрудничать с соот-

ветствующими международными и национальными ассоциациями, уже значительно продвинувшимися в методологическом и практическом плане. Оперативное и критическое восприятие (а отнюдь не копирование!) имеющегося неочечного опыта — это ещё один исторический шанс, которым мы обязаны воспользоваться.

* * *

Индустрия вычислительных информационных технологий не может существовать в безвоздушном пространстве и должна тесно взаимодействовать с фундаментальной наукой посредством совместных научно-исследовательских работ (НИРы или НИОКРы), с компаниями-создателями новых ЭВМ (техническое оснащение), а главное — с командами пользователей, работающими на отраслевых предприятиях, от результативности которых и будет зависеть конечный эффект рассматриваемых высоких технологий. Глубокое проникновение в суть динамичных взаимосвязей, анализ возникающих проблем и формирование путей их конструктивного решения станет основой для создания “дорожной карты” научно-технического развития, действительно позволяющей выявлять имеющиеся перспективы, ставить выполнимые задачи и достигать реальных результатов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 14-11-00485.

ЛИТЕРАТУРА

1. План мероприятий (“дорожная карта”) “Развитие отрасли информационных технологий” // <http://government.ru/media/files/41d4b29db7c74fb9ad46.pdf>
2. Стратегия развития отрасли информационных технологий в Российской Федерации на 2014–2020 годы и на перспективу до 2025 года // [http://minsvyaz.ru/common/upload/Strategiya_razvitiya_otrasli_IT_2014-2020_2025\[1\].pdf](http://minsvyaz.ru/common/upload/Strategiya_razvitiya_otrasli_IT_2014-2020_2025[1].pdf)
3. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года // <http://government.ru/media/files/41d4b737638b91da2184.pdf>
4. *Il'in V.P., Skopin I.N.* Computational Programming Technologies // *Programming and Computer Software*. 2011. V. 37. P. 210–222.