

РАЗВИТИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ САПР – ЗАДАЧА НАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Рассказывает директор ИППМ РАН академик А.Л.Стемпковский

Говоря с высоких трибун о проблеме технологической независимости и безопасности России, все руководители упорно забывают о том, без чего теряют смысл все полупроводниковые технологии и новые заводы – о средствах автоматизированного проектирования (САПР). А без них в принципе невозможно создать ни одну современную микросхему, ни один прибор. Как-то за скобками остается тот факт, что вся микроэлектроника в России полностью (подчеркнем - без какой-либо альтернативы) зависит от продуктов всего трех компаний США – разработчиков САПР. И если тотальной монополии США в сфере микропроцессоров пытаются противопоставить отечественные разработки, то в сфере САПР даже попыток таких не делается. Учитывая, что создание САПР не требует инвестиций в дорогостоящее технологическое оборудование или в особую инфраструктуру производства, что САПР ведущих мировых компаний во многом создают отечественные (или бывшие отечественные) специалисты, подобная политика выглядит странно, если не сказать – по-гайдаровски: "Мы все это купим". Но может быть, наш взгляд неверен, и проблемы САПР не существует? Или Россия отстала настолько, что поднимать этот вопрос в принципе неуместно? За разъяснениями мы обратились к одному из ведущих российских экспертов в этой области, директору ИППМ РАН (единственный в стране институт, занимающийся вопросами САПР), академику Александру Леонидовичу Стемпковскому.

Александр Леонидович, кратко расскажите об истории института.

Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН (до апреля 1998 года – Научно-исследовательский институт систем автоматизированного проектирования радиоэлектронной аппаратуры и сверхбольших интегральных схем

РАН – НИИ САПРАН) сформирован на основании постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 22 мая 1986 г., посвященного созданию крупного межведомственного Центра информатики и электроники (ЦИЭ) под Зеленоградом. В состав ЦИЭ должны были войти 12 крупных НИИ и заводов пяти министерств и ведомств, в том числе – наш институт. Идея включить в состав ЦИЭ два академических института – НИИ САПРАН и НИИ системных исследований – для тесного взаимодействия фундаментальной и отраслевой наук принадлежала академикам Е.П.Велихову (тогда – вице-президенту АН СССР), К.А.Валиеву и Б.Н.Наумову.

ЦИЭ создавали, чтобы обеспечить должный уровень СССР в области компьютерных технологий путем организации разработок и производства перспективной компьютерной техники на базе новейших микроэлектронных технологий. Перед НИИ САПРАН ставилась задача разработки перспективных САПР микроэлектронной аппаратуры. Для этого предусматривалось строительство институтского здания площадью 5 тыс. м² с собственной лабораторно-экспериментальной базой и компьютерным центром. Плановая численность института – 300 человек. Первым его директором стал член-корр. АН СССР Борис Васильевич Баталов. Я был его заместителем по науке, а после смерти Б.В.Баталова в 1992 году возглавил институт.

Надо отметить, что проект создания ЦИЭ был весьма своевременным и чрезвычайно масштабным. В 1985–86 году мы отставали от США примерно на пять лет – на аналогичном уровне микроэлектроника была в США в 1980 году. И если бы проект удалось реализовать, мы бы, возможно, не находились сейчас там, где мы есть.

Однако с распадом СССР проект ЦИЭ был остановлен. Похоронил его Е.Т.Гайдар, издав постановление, запрещающее какие-либо новые капитальные вложения. Уже идущую полным ходом стройку заморозили. Было предложено создать акционерное общество, в котором уже сделанное называлось вкладом российской стороны. А остальные средства должны были предоставить сторонние – зарубежные – инвесторы. Конечно, таковых не нашлось, и колоссальные деньги сгнили в земле – сейчас на месте ЦИЭ стоят только скелеты зданий.



Всего этого в 1986 году мы предвидеть не могли, но хорошо понимали, что пока идет стройка, важно создать коллектив, поскольку НИИ САПРАН организовывался "с нуля". Удалось найти временное (как тогда казалось) здание, где и начал формироваться и работать институт.

Начало работы пришлось на 1990-е годы. Денег в стране не было, требовалось устанавливать международные контакты. В то время нам удалось организовать серию международных конференций Russian Workshop, из которых особо следует отметить первый семинар 1991 года в Ленинграде. На нем присутствовал весь цвет мировой науки САПР. Тогда только поднялся "железный занавес", и интерес к России был колоссальный. Конференция прошла с огромным успехом. Одновременно делали доклады по состоянию проблематики японские, американские, европейские и российские специалисты. Иностранцы испытывали шок, узнавая, что некоторые методы в области САПР были разработаны в СССР гораздо раньше, чем за рубежом – а там об этом ничего не знали. Например, Джовани Винченделе – общепризнанный разработчик одной из важнейших технологий САПР – узнал, что за семь лет до него аналогичное решение предложил С.Г.Русаков (сейчас – член-корр. РАН, заместитель директора ИППМ РАН по науке). Все это было опубликовано, но в СССР. Другой пример – у нас был свой функциональный аналог американской системы схемотехнического моделирования SPICE, ставшей фактически промышленным стандартом. По мнению посетивших институт специалистов из исследовательского центра в Беркли, наша система функционально ничем не уступала SPICE. Да и в целом уровень САПР в СССР и за рубежом был почти одинаков, мы не очень отставали.

Всего было проведено четыре международных семинара Russian Workshop. Их спонсорами выступали РАН, а также Комиссия европейских сообществ и ведущие международные ассоциации в этой области – IFIP, ACM SIGDA и др. Эти конференции вызвали большой интерес у ведущих зарубежных ученых.

В 1992 году группа известных профессоров решила организовать общеевропейскую конференцию EuroDAC по проблемам САПР. Первая конференция с успехом прошла в Гамбурге при спонсорстве крупных международных и национальных ассоциаций. ИППМ РАН от лица РАН выступил соучредителем этой конференции, а я вошел в состав ее правления. В 1998 году ряд европейских конференций (EuroDAC, EuroVHDL, EDAC, ETC и EuroASIC) слились в единый общеевропейский форум DATE (Design, Automation and Test in Europe), включающий в себя конференцию, выставку, презентации фирм-разработчиков коммерческих САПР, лекции ведущих профессоров, заседания международных организаций и т. д. В этой новой структуре ИППМ РАН сохранил свое высокое положение. Участие во всех этих международных конференциях, в том числе, позволило нам установить необходимые зарубежные кон-

Александр Леонидович Стемповский – доктор технических наук, профессор, академик РАН, лауреат Государственной премии РФ в области науки (2004 г.), один из ведущих ученых России в области систем автоматизированного проектирования (САПР) микроэлектронной аппаратуры, автор



120 научных работ, включая три монографии и изобретения. С 1992 года возглавляет Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН. Александр Леонидович является членом рабочей группы WG10.5 Международной федерации по обработке информации (IFIP), одним из создателей и членом Правления крупнейшей европейской конференции по автоматизации проектирования и опыту разработки микроэлектронных устройств (DATE), членом программных комитетов ряда крупных международных конференций и семинаров.

такты, найти заказчиков из числа ведущих компаний и таким образом сохранить институт.

Каково современное состояние института, как оно связано с состоянием тематики САПР в России?

Мы работали и до сих пор работаем с рядом иностранных компаний. Но ведь институт наш – очень маленький, всего 72 сотрудника, причем непосредственно проблемами САПР занимаются около 25 человек. Понятно, что такой коллектив физически не способен сделать свою большую систему. Для сравнения – у компании Cadance только в Сан-Хосе около 1000 инженеров, с очень хорошими условиями труда и оплаты, которые все свое время тратят на разработку и поддержание САПР Cadance. Не говоря про сеть филиалов Cadance по всему миру. Если в начале 1990-х годов у нас в области САПР был паритет с США, то они с тех пор продолжали развиваться, создавая новые продукты и скупая небольшие компании. В результате три



ведущих фирмы США постепенно монополизировали весь рынок САПР. У нас же с тех пор количество организаций, занимающихся проблемами САПР, неуклонно сокращалось, а разработка средств САПР почти полностью прекратилась.

Отмечу, что это – не случайность, а целенаправленная политика руководителей российской электроники. Помню, как на одном из заседаний РАСУ в конце 90-х я спросил: "Вы планируете развивать дизайн-центры, оснащать их САПР зарубежных фирм, а как быть с созданием отечественных САПР? Почему планируется только закупка зарубежных продуктов и даже не рассматривается создание отечественных"? Мне ответили: "Мы этим заниматься не будем". С тех пор государственное отношение к САПР, увы, не изменилось.

Такая порочная политика привела к тому, что сейчас в России практически нет организаций, которые вообще занимаются данной проблематикой. В России 100%-ная монополия САПР США, полная информационная зависимость от них. И стоит перекрыть этот канал – все, заменить абсолютно ничем. Я об этом говорил и писал многократно.

Приведу один, но характерный, пример. Как соучредитель форума DATE, который попеременно проходит в Мюнхене и Париже, а сейчас и в Ницце, я могу – и всячески стараюсь – за счет фондов этой конференции финансировать поездки туда молодых специалистов из России и других стран СНГ, чьи доклады приняты для участия в конференции. Но с горечью констатирую: несмотря на то, что я – один из соучредителей этой конференции, там очень мало наших специалистов. Посылать почти некого. Потому что это направление в России незаслуженно забыто и не финансируется.

Может быть, просто не хватает бюджетных денег?

О нехватке средств можно было бы говорить, если бы разумно расходовались существующие. Посмотрите – сейчас Роспром ведет компанию создания дизайн-центров. За бюджетные деньги уже не единожды приобретались зарубежные САПР, потрачены огромные суммы. Причем помимо непосредственно закупки программ, САПР ведь нужно поддерживать – на это ежегодно уходит порядка 20% ее первоначальной стоимости. Иначе устаревают библиотеки, теряется совместимость с новыми технологиями и т. п.

Так вот, создаваемые дизайн-центры не являются "центрами". Они работают сами по себе, за счет выделенных им денег. К приобретенному за бюджетный счет инструментарию они никого не подпускают – просто нет такого механизма. А идея была иной. Ведь как работают ведущие зарубежные компании: у них в едином центре собраны различные САПР. А команды разработчиков, распределенные по всему миру, могут взять разрешительный код для доступа к лицензии – продукт у всех есть – и использовать САПР. То есть даже ведущие полупроводниковые фирмы стремятся минимизировать число лицензий, но используют их очень интен-

сивно, фактически – 24 часа в сутки. Строго в соответствии с теорией массового обслуживания, при правильной организации процесса ограниченным ресурсом лицензий могут пользоваться очень многие разработчики-потребители.

А у нас, например, у какого-либо дизайн-центра лицензия – дорогая, купленная за бюджетные деньги – реально используется раз в неделю. Никто другой не имеет к ней доступа. И такой центр – не один.

Я уже молчу о том, что зачастую конфигурация приобретаемых САПР, мягко говоря, не оптимальная. Видно, что решение принимали не профессионалы, а какие-то чиновники. Опять же, напрасно потраченные огромные государственные деньги.

Мы предлагали – давайте один раз за бюджетные средства купим необходимые системы, сосредоточим их в едином центре, который будет обязан по очень дешевым, символическим ценам предоставлять доступ к ним всем инновационным предприятиям, университетам, малым и средним предприятиям и т. п. Ведь сейчас, если создать новое предприятие по разработке изделий микроэлектроники, сразу встает альтернатива – либо вкладывать 2 млн. долл. в САПР, либо пользоваться ворованными продуктами. В любом случае – риск, либо финансами, либо совместимостью и качеством. Это приводит к затягиванию сроков разработки и к опозданию выпуска продукта на рынок.

Но ведь в НИИМА "Прогресс" был создан межведомственный центр именно с такими задачами?

А вы там можете воспользоваться хоть чем-нибудь? И дело не в том, что в этом центре есть САПР только одного производителя – Cadance, причем давно не обновлявшаяся. Но за все годы, что этот центр существует – за государственный счет, – хоть одна фирма могла воспользоваться их ресурсами? И если да, на каких условиях? Проблема в том, что в НИИМА "Прогресс" не создано механизма коллективного доступа к ресурсам. А ведь этот центр – межведомственный. Что уж говорить о других дизайн-центрах? Особенно, если они создаются за бюджетные деньги, и вопрос их окупаемости руководство, видимо, не волнует – САПР достается фактически даром. В итоге бюджетные средства тратятся очень неэффективно.

Я предлагал создать механизм именно коллективного доступа, у ИППМ РАН есть для этого реальный опыт. Если у нас идет проект с какой-либо зарубежной компанией, мы можем пользоваться их лицензиями на продукты САПР – разумеется, только в рамках этого проекта. Получается, я при работе с компанией США могу воспользоваться чужой лицензией, а с российской – нет.

Есть ли какие-либо шансы сделать в области САПР свою полноценную систему?

Разумеется, просто догонять уже поздно. Однако и медленно идущий человек обгонит скорохода, если зна-



ет более короткий путь. Не нужно пытаться повторить, что уже сделано. Необходимо найти что-то новое, используя свои сильные стороны.

Россия традиционно сильна своим интеллектуальным потенциалом. Мы находим решения, которые мало кто в мире еще сможет найти. Например, наш институт – очень небольшая компания, но наши решения используются в САПР многих ведущих мировых производителей. Так, я уверен, что каждый сотовый телефон Motorola создан с использованием результатов нашей работы. А в России мы не востребованы просто потому, что подобная деятельность элементарно не организована.

Кроме того, в области современных САПР еще немало нерешенных проблем. Например, задача оптимизации. САПР всегда отставали по уровню развития от полупроводниковых технологий лет на семь. Это и не удивительно, ибо постоянно растут размерности, проявляются новые физические эффекты и т. п. Конечно, без САПР никакой современный чип спроектировать нельзя. На помощь приходят IP-блоки – по сути, концентрация предыдущего опыта. Они позволяют "крупными мазками нарисовать картину" СБИС. Но при этом возникает большая избыточность. И это характерно для очень многих проектов, синтезируемых современными САПР. Можно сделать намного лучше.

Например, компания Motorola предложила нам оптимизировать одну из своих ИС, которая давно и успешно продавалась по всему миру. Любой чип характеризуется тремя основными параметрами – быстродействием, мощностью потребления и занимаемой площадью (или числом вентиляей). Эти три параметра конфликтуют – при оптимальной конструкции ИС невозможно улучшить один, не ухудшая другой. Так вот, мы почти в два раза улучшили каждый из этих параметров. Схема стала лучше в семь раз! Заказчики были шокированы. А у них просто задача оптимизации не стояла. Сократив вдвое площадь кристалла, на одной пластине вы получаете вдвое больше чипов. Это же немалые деньги! Представляете, какой эффект можно получить, вкладывая средства в САПР?

Другой пример – проблема избыточной точности. Создавая универсальную модель, разработчик ориентируется на наихудший случай. Но в реальной задаче предельно высокая точность требуется далеко не всегда. Скажем, если мы на 3% ухудшим точность, что в пределах технологических допусков, математическая задача упрощается в сотни раз. Если идти от потребности, можно создать эффективную модель именно под задачу, а не наоборот.

Но самое главное – очень важно проводить исследования, цель которых – осознать, какие системы будут востребованы в ближайшем и более отдаленном будущем. Нет смысла воспроизводить современные системы, хотя определенные их элементы делать все равно придется. Необходимо сразу ориентироваться на новые задачи и новые воз-

можности. И в этой связи очень правилен курс Правительства РФ на развитие нанотехнологий.

Как это связано с САПР?

Что такое наноэлектроника? По сути, эта научная область должна рассматривать новые эффекты, возникающие при уменьшении размеров элементов. То есть когда можно говорить о появлении качественно новых задач. Например, сейчас задержки в металлических межсоединениях становятся больше, чем в самом венти́ле. Раньше об этом даже не задумывались, соответственно, модели САПР их либо совсем не учитывали, либо учитывали с недостаточной точностью. Появляется совершенно новая задача, требующая новой методики решения. Или другой пример. Сейчас вся разработка строится на библиотечных элементах. Их необходимо очень точно спроектировать, учитывая различные вариации технологических процессов и внешних воздействий. Моделировать все это очень сложно, требуются огромные вычислительные ресурсы – только для аттестации технологических библиотек. Раньше таких задач тоже не было.

Кроме того, сейчас электроника, пусть и в области наноразмеров, продолжает развиваться на основе планарной технологии. При этом сохраняется традиционная логика построения схем, на основе отдельных вентиляей. Но есть и другой подход – достигать решения за счет новых свойств, не опираясь на стандартную логику. Это – совершенно другое качество. Например, биочипы – лаборатории на кристалле. Это некая структура, позволяющая без сложнейших вычислений решать задачи, например, анализа веществ. Примеров можно приводить много, один из них – квантовый компьютеринг. Это уже качественно новые технологии. Такой подход, безусловно, применим не ко всему, но если искать подобные решения, то сложатся нанотехнологические системы. В ИППМ РАН ведутся исследования новых наноэлементов. Мы должны ими владеть, если собираемся проектировать наносистемы.

Если идти путем освоения принципиально новых технологий, тогда действительно можно кого-то догнать. Размеры элементов в планарной технологии подошли к своему пределу – сейчас таковой называют величину в 22 нм. Поэтому нанотехнологии очень важны как технологии завтрашнего дня. Более того, на мой взгляд, наноэлектроника – единственный шанс России занять достойное место в будущей мировой электронике. Но планарная технология достаточно долго будет основной. И если мы будем так безумно отставать в этой области, ничего хорошего не получится.

Но ведь помимо научного потенциала, нужна определенная база, научная школа, собственно специалисты-разработчики САПР. Они еще остались в России?

Здесь ситуация хуже. У нас были отличные научные школы в области САПР. При каждом центре микроэлектроники сущес-

твовали центры разработки САПР. Но почти все они умерли. И если мы подождем еще лет 5–10, то уже точно ни одной научной школы САПР в России не останется. Но пока специалисты-разработчики САПР еще есть. Пусть их и мало, но можно собрать команду, которая способна успешно работать. Вокруг этой команды появится молодежь, что обеспечит преемственность.

Прежде всего, необходимо объединить те силы, которые еще могут работать в этой области. Они есть в МИЭТ, в МГУ, в МИЭМ, в МИФИ, есть в ИПИ РАН. Несколько групп специалистов работают в филиалах зарубежных компаний в России. Если создать им условия, они с радостью перейдут в российскую компанию. Работать в большой зарубежной компании – это хорошо, но не очень надежно, поскольку решения принимает некий отделенный начальник, и они зачастую слабо прогнозируемы.

Повторюсь, собственно потенциал именно российских специалистов очень высок. И если их труд будет организован и оплачен, неизбежно появятся результаты. Но ожидая еще немного, не занявшись всерьез отечественными САПР прямо сейчас, потом уже придется все начинать с нуля.

Но каким образом можно объединить разрозненные группы специалистов, организовать процесс разработки систем САПР?

Недавно прошла уже третья Всероссийская научно-техническая конференция "Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем – 2008" (МЭС-2008), одним из организаторов которой выступает ИППМ РАН. Она собрала специалистов из 10 стран, включая США, Германию, Мексику и Индию, было представлено свыше 100 докладов. На итоговом заседании конференции отмечены две крупные проблемы: монополия САПР зарубежных компаний и почти полное отсутствие коммерческих российских разработок в области САПР. На основании решения конференции мы от имени научной общественности подготовили письмо в Правительство РФ вице-премьеру С.Б.Иванову о том, что необходимо разработать Государственную целевую программу по созданию отечественных САПР изделий микро- и нанoeлектроники. Главная задача такой программы – обеспечить информационную независимость России от зарубежных средств САПР.

Кроме того, и это также отмечено в решении конференции МЭС-2008, необходимо создать, по крайней мере, один дизайн-центр коллективного пользования. Его основная задача – подчеркиваю – обеспечение доступа к современным средствам проектирования для научно-исследовательских организаций, малых и средних инновационных компаний. Прежде всего, в таком дизайн-центре необходимо аккумулировать лучшие зарубежные достижения и обеспечить к ним доступ для инновационных компаний. Это будет мощнейшим допингом для российской инновационной промышленности. Мы четко понимаем, и какие именно продукты там должны быть, и какой именно механизм предоставления лицен-

зий должен действовать. Вторая задача центра, сопутствующая, – консультации по применению, помощь в проектировании, возможно – просто проектирование по заказу, но самое главное – обучение специалистов-пользователей. В МИЭТе есть такой центр подготовки, но его нужно развивать.

Возможен ли в России путь развития САПР за счет покупки небольших фирм, как это делают все ведущие мировые производители САПР?

Как вариант, возможен. Зачастую гораздо проще купить технологию, чем разрабатывать ее с нуля. При этом приобретенные продукты необходимо осваивать и перерабатывать, т. е. по-настоящему овладевать ими. Но это должен быть очень осмысленный и осторожный подход. Ведь возможна ситуация, что сегодня компанию купили, а завтра все ее сотрудники собрались и ушли, чтобы открыть новую фирму.

В целом же необходимо создавать свою систему. Разумеется, не сразу, по отдельным подсистемам. Но если это делать планомерно, результат придет. В частности, именно такой политики придерживается компания Cadance – они все стараются разработать сами. А если и покупают небольшие фирмы, то порой лишь для того, чтобы положить их разработки "под сукно" – убрать конкурирующие технологии. Или же они тщательно перерабатывают приобретенные технологии третьих фирм, делая их своими.

А какова должна быть роль ИППМ РАН в процессе развития отечественных САПР?

Конечно, наш институт должен играть в этом процессе серьезную, если не ключевую роль. Мы готовы создать на базе института центр САПР. Территориально ИППМ РАН расположен в Зеленограде, где помимо уже существующих предприятий электроники будут создаваться новые. Московское правительство формирует там территорию инновационного развития, создается свободная экономическая зона. В Зеленограде есть центр подготовки кадров – МИЭТ. Складываются все условия для создания дизайн-центра коллективного пользования, этим нельзя не воспользоваться.

Но самая главная задача – разработка средств САПР. Для обеспечения технологической независимости страны вопросы собственных средств проектирования не менее, а то и более важны, чем наличие полупроводниковых производств. Но самостоятельно создать большую законченную систему ИППМ РАН не сможет – нужна кооперация с другими коллективами. Необходима отдельная государственная целевая программа, для формирования и реализации которой нужно собирать коллектив, и мы можем выступить инициаторами этого процесса. В разработку САПР нужно вкладывать средства, и тогда года через три-четыре может появиться продукт, который будет продаваться и начнет окупать затраты. Самая большая проблема заключается в моделях приборов, поскольку в стра-



не нет собственных современных полупроводниковых технологий. Но все остальное мы вполне можем реализовать.

В заключение – вопрос, прямо не относящийся к САПР. Известно, что группа академика В.С.Бурцева после его смерти перешла в ИППМ РАН. Речь идет о разработке компьютера с архитектурой Data flow, о чем в свое время писал наш журнал*. В каком состоянии эти работы сейчас?

Действительно, в свое время направлению Data flow в области суперкомпьютинга в нашей стране уделялось немало внимания. В частности, этим в последние годы занимался коллектив, возглавляемый академиком В.С.Бурцевм. Были достигнуты определенные результаты, получены патенты. Мы даже сотрудничали с ним по отдельным вопросам. Без Всеволода Сергеевича группа осиротела. Часть коллектива перешла в ИТМ и ВТ, а часть пришла в наш институт и работает с марта 2007 года. Кто-то ушел, появились новые специалисты. Сейчас в этой группе девять человек.

После появления темы Data flow в ИППМ РАН мы провели исследования эффективности данной архитектуры для реше-

* В.Бурцев. Вычислительные процессы с массовым параллелизмом. Новый подход. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2002, №2, с.32–35; И.Шахнович. Работы по архитектуре сверхвысокопроизводительного компьютера продолжаются. – Там же, с.30–31.

ния некоторых классов задач, например обработки изображений, оптимизировали архитектуру и систему команд, создали инструментарий для программной эмуляции разрабатываемой архитектуры. На мой взгляд, система Data flow перспективна. Это ведь масштабируемая архитектура, скорее даже – вычислительная среда с множеством исполнительных устройств. И в контексте проблематики нашего института я вижу задачу синтеза на этой вычислительной среде необходимой функциональности – т. е. тех ресурсов, которые необходимы для наиболее эффективного решения той или иной задачи. Таким образом, из архитектуры суперкомпьютеров Data flow становится архитектурой встроенного суперкомпьютерного процессора, который гибко программируется под конкретную задачу. Его можно реализовывать на чипе. Возможно, это станет подходом к реализации массового суперкомпьютинга, о чем сегодня так много говорят.

Спасибо за содержательный рассказ. Пожелаем успехов во всех ваших начинаниях, прежде всего – в создании программы развития отечественных САПР и ее реализации.

С А.Л.Стемпковским беседовали П.П.Мальцев и И.В.Шахнович