

Самовоспроизводство вещей

Кандидат экономических наук
А. Ю. Чернов
Финансовый университет
при правительстве РФ

Оглавление

Крах автоматизации	1
Робот делает работа	2
Мир САС	5
План действий	8

Крах автоматизации

Российская экономика и наука находятся в долголетнем кризисе. Однако не только они, в мировой науке тоже застой. Уже 40 лет нет революционных достижений в химии, физике, энергетике, авиации, космонавтике, машиностроении, сельском хозяйстве и других отраслях, несмотря на то что сейчас в год на науку и технику в мире тратится астрономическая сумма 1,4 трлн. долларов, почти как ВВП России (подробно автор анализировал эти процессы в статьях в журнале «ЭКО», 2006, № 4 и 2010, № 6). За последние десять лет в мире израсходовали на исследования и разработки более 10 трлн. долларов, а создан только один новый массовый коммерческий продукт - планшет и, может, еще что-то по мелочи. После энергетического кризиса 1972 года огромные средства были вложены в поиск новых источников энергии для замены ископаемого топлива, но безрезультатно: доля возобновляемых источников — гидро-, ветро-, гелиоэнергии — сократилась с 23,6% в 1970 году до 17,5% в 2000-м и лишь чуть-чуть возросла к 2011 году (до 18,7%). Одно время прогресс связывали с повальной автоматизацией. Однако основные ее средства появились очень

давно: ЭВМ — 65 лет назад, роботы — 50 лет, станки с числовым программным управлением (ЧПУ) — 55 лет, гибкие производственные системы — 45 лет назад, но автоматизация до сих пор носит фрагментарный характер. Более того, наметилась тенденция к снижению ее уровня. Так, парк роботов мира вырос с 1970 по 1980 год в 28 раз, с 1981 по 1990-й — в 22 раза, с 1991 по 2000-й — в три раза, с 2001 по 2008-й — только на 20%, а у лидера роботостроения, Японии он сокращается с 2000 года. Основные причины кроются прежде всего в том, что современная экономика не приспособлена к сплошной автоматизации. Во-первых, новые гибкие средства значительно дороже средств производства с ручным трудом, что не всегда обеспечивает их быструю окупаемость, сохранение рентабельности и доходности капиталов на уровне неавтоматизированных производств. Во-вторых, в условиях циклических спадов производства высокоавтоматизированные предприятия приносят владельцам больше убытков: дорогостоящее оборудование нельзя «сократить», как рабочих, и капитал, вложенный в это оборудование, омертвляется, не принося дохода. В-третьих, даже самые гибкие средства автоматизации не могут конкурировать по гибкости с работником в постоянно меняющейся непредсказуемой конъюнктуре рыночного хозяйства: при освоении новой продукции часто бывает выгоднее нанять новых рабочих или переобучить прежних. В-четвертых, внедрение средств автоматизации на действующих предприятиях сокращает число рабочих мест или замедляет их рост, а это вызывает сильное сопротивление рабочих и профсоюзов. В-пятых, серьезным препятствием на пути внедрения средств автоматизации оказывается дешевая армия труда в слаборазвитых странах.

Робот делает работа

Преодолеть эти недостатки современной экономики возможно только внедрением принципиально новых подходов. Одно из решений подсказывает живая природа, которую в известном смысле можно рассматривать как своего рода производственную систему. Каждая живая клетка состоит из десятков

тысяч сборочных станков (рибосом), транспортных машин, энергетических установок (митохондрии) и управляющей машины с программами (ДНК и РНК). Они в автоматическом режиме, с помощью белков, построенных согласно программам, извлекают из окружающей среды нужные вещества, синтезируют то, чего им не хватает, и собирают дочернюю клетку с фантастической скоростью, а при необходимости начинают вырабатывать другую «продукцию». Все эти самовоспроизводящиеся машины устойчиво работают миллионы лет. Почему бы человеческой цивилизации не последовать примеру биообъектов?

Впервые в научном мире возможности создания систем, которые сами себя воспроизводят, исследовал в конце 40-х годов Джон фон Нейман в работе, которую так и назвал: «Теория самовоспроизводящихся автоматов». Большое исследование по этой теме было проведено летом 1980 года под эгидой НАСА и Американского общества технического образования в Калифорнийском университете Санта-Клары, причем разрабатывался даже проект лунного самовоспроизводящегося комплекса.

В промышленности уже в 80-е годы XX века частично были реализованы элементы таких систем: ведущие автомобилестроительные компании поручили роботам почти всю сварку кузова автомобиля и до 40% сборочных операций. В 1981 году японская компания «Фудзицу фанук», специализирующаяся на производстве промышленных роботов, создала завод-автомат в Фудзи, где без участия рабочих станки с ЧПУ изготавливали детали роботов и станков, а в 1982 году — другой завод-автомат по изготовлению электродвигателей и сборки их роботами. В ИМП им. М.В.Келдыша АН СССР прошли успешные опыты по сборке масляного насоса из 17 деталей двумя роботами УЭМ-2 под управлением ЭВМ М6000 с быстродействием до 2 млн. оп/сек (у среднего ноутбука оно сейчас в 1000 раз выше!). В 80-е годы роботы на заводе калифорнийской компании «Некст» во Фримонте выполняли всю работу от монтажа печатных плат до сборки готовых компьютеров, в Англии был создан небольшой роботизированный

литейный цех, в Японии эксплуатировались роботизированные краны и роботы для укладки арматуры, бетона, кирпича в строительстве. В московском Институте химических реактивов и особо чистых веществ в 1987 году была создана управляемая ЭВМ автоматизированная установка «Протон» для производства любых малотоннажных химикатов на переналаживаемых восьми блок-модулях. Она занимала всего 20 кв. м. С 1990 года роботы собирали отдельные узлы роботов на заводе компании «Якусава электроник» на острове Кюсю. С 1983 года стала внедряться спутниковая навигация движения автомобилей, тракторов, других транспортных средств, позволяющая в принципе обойтись без водителя (ее развитие искусственно сдерживалось, пока в 2000 году Билл Клинтон не снял ограничения на точность определения координат гражданскими лицами). В 1984 году в городе Цуруба (Япония) прошли испытания экспериментального мини-завода-автомата, изготавливающего из металлического порошка различные готовые машины весом до 500 кг с помощью прессов, нескольких станков и роботов и почти без участия людей.

В 80-е годы XX века также возникли технологические приемы изготовления деталей микроботов (см. «Химию и жизнь», 1998, № 12 — Примеч. ред.). Например, в Массачусетском технологическом институте методами полупроводниковых производств изготовили из кремния воздушную турбину с ротором диаметром до 240 мкм (делает 15 тыс. об/мин), зубчатую передачу с тремя шестернями диаметром в несколько сот микрон, захват, состоящий из двух кулачков и зубчатого ползуна, и даже действующие миниатюрные электродвигатели с ротором диаметром 100 мкм. В Сандийской национальной лаборатории Минэнерго США аналогичными методами создана из кремния микропаровая машина (площадь поршня — 12 мкм², его ход — 20 мкм). Подобные детали должны были продемонстрировать возможность создания микромеханизмов.

Но с тех пор прошло почти 30 лет. За это время быстроедействие бытовых компьютеров возросло в миллион раз, а суперЭВМ — в 20 млн. раз.

Разрешение цифровых фотокамер достигло разрешения человеческого глаза (100 млн. пикселей), появились совершенные компьютерные программы проектирования деталей, машин, электронных схем с прямой передачей для изготовления на станки с ЧПУ, трехмерные принтеры и так далее. Появилась печатная электроника — возможность распечатывать электронные изделия на специальном принтере, прямо в собранном виде, со всеми деталями. Распространилась технология микроэлектромеханических систем (МЭМС), когда методами микроэлектроники изготавливают различные датчики, гироскопы, микродозаторы и другие механические изделия, опять-таки в готовом собранном виде. Однако наметившаяся было деятельность по созданию самовоспроизводящихся автоматизированных систем почти сошла на нет.

Мир САС

Но давайте посмотрим, какое будущее в результате может быть утрачено. Самовоспроизводящиеся автоматические системы (САС) — установки, где роботы осуществляют весь процесс от получения первичных материалов до конечного изделия, — могли бы быть наземными (стационарными или на мобильной платформе) или плавучими (синтез современного плавучего дока и судна-мастерской). Для обеспечения устойчивости источником энергии должны служить солнечная, ветровая, волновая электростанции или биомасса, в том числе культивируемая самой системой. Основные конструкционные материалы — железо, алюминий, керамика, стекло — могут быть выделены из повсеместно распространенной глины и горных пород с помощью различных химических процессов, органические соединения — получены синтезом из водорода и окиси углерода, источниками которых будут вода, углекислый газ или та же биомасса. САС должна быть оснащена несколькими сборочными и транспортными роботами с системами технического зрения, роботизированным краном, многоцелевыми станками с ЧПУ, электропечами

для литья и термообработки материалов, прессом, химическим реактором, энергоустановкой и мелким дополнительным оборудованием. Возможно применение принципиально новых технологий по «выращиванию» готовых деталей, узлов и машин методами гальванопластики или с помощью трехмерных принтеров. Оборудование должно быть спроектировано под автоматическую сборку и монтаж, с максимальной заменой дефицитных материалов на общедоступные. Для повышения надежности работы все оборудование следует продублировать и разместить вдоль одного общего транспортного прохода. Если какое-то оборудование на одной половине САС вышло из строя, вторая половина используется для его восстановления — ремонта или изготовления копии.

Конструкции САС станут развиваться постепенно. Сначала они будут обеспечиваться со стороны дефицитными материалами и узлами (например, подшипниками, микросхемами). В дальнейшем для их изготовления в каждую САС будет встроено специальное оборудование или созданы узкоспециализированные САС для снабжения остальных. На первых САС неизбежно использование персонала для ремонта оборудования, монтажа и сборки наиболее сложных узлов. Затем по мере роста надежности САС начнется переход к вахтовому обслуживанию и, наконец, к работе без участия человека.

Главное достоинство САС — быстрый рост производственного потенциала. Расчеты показывают, что при современном уровне развития техники и технологии можно добиться двухлетнего цикла самовоспроизводства САС. При таком показателе эффективности нужно будет всего один раз создать универсальную материнскую САС, которая поначалу займется самовоспроизводством, а потом дочерние САС начнут выработку товарной продукции. Одна САС за 20 лет может создать свыше тысячи дочерних САС, за 40 лет — свыше 1 миллиона, за 60 лет — свыше 1 миллиарда. Объективно, рост ограничен только энергосырьевой базой, которая

для САС в тысячи раз превосходит современный объем мирового материального производства.

Успешное применение САС в земных условиях, возможно, откроет перспективы освоения космических ресурсов. Одна САС, посланная на Луну, астероиды или другие космические тела, создаст колонии дочерних САС, которые затем можно переключить на выпуск потребительских товаров и средств доставки их на Землю. Производственные возможности космической системы практически безграничны. Так, при двухлетнем периоде самовоспроизводства САС (допустим, массой в 1—10 тонн) всего за век способна переработать всю массу астероидов и малых планет — $1,8 \times 10^{18}$ тонн, дав порядка 100 млн. тонн различных изделий и материалов в расчете на одного жителя Земли. Если бы не ограничения по энергии, плотности размещения и расстоянию, то одна исходная материнская САС за полтора века могла бы переработать массу всех планет Солнечной системы, а за три — объем, равный массе Вселенной.

Но развитие САС — не самоцель, а лишь средство для последующего развертывания крупномасштабного производства необходимых товаров бытового и производственного назначения, в первую очередь электроэнергии, металлоконструкций, жидкого топлива, производственной и бытовой техники, домов и так далее. САС после самооснащения дополнительным оборудованием будет выпускать одежду, обувь и даже продукты питания, выращенные на мини-ферме. САС могут находиться во владении отдельных городов, сел и даже семей, бескровно реализуя мечту «каждому по потребностям». САС освободит человека от необходимости трудиться ради куска хлеба; люди смогут заниматься самореализацией, культурным и духовным развитием, улучшится экологическая обстановка за счет рассредоточения производства и населения, увеличится продолжительность жизни в результате роста благосостояния и распространения медицинских технологий, многие научные эксперименты и технические проекты, не реализованные из-за нехватки средств, будут осуществлены. Наземные САС

станут орудием реконструкции неудобных для жизни людей районов Земли (тундры, болот, пустынь). Плавающие САС и созданные ими понтоны превратят часть поверхности морей и океанов в пригодную для жизни среду в виде сети плавучих островов.

План действий

Теперь перейдем от фантазий к прозе жизни. Когда-то С.П.Королев начинал свои опыты, используя в качестве ракетного двигателя паяльную лампу, и создал знаменитую ракету Р-7 практически без использования ЭВМ за четыре года, силами нескольких сотен конструкторов и проектировщиков. Для работ по САС стартовые условия намного лучше. Серийно выпускается практически все необходимое оборудование: роботы, станки с ЧПУ, автоматические линии, компьютеры, установки альтернативной энергетики. К услугам исследователя — персональный компьютер с быстродействием до 3—4 млрд. оп/сек (это больше, чем быстродействие всех 48 тысяч ЭВМ США в 1969 году, когда американцы полетели на Луну), веб-камеры с разрешающей способностью выше, чем системы технического зрения, применявшиеся в 70—80-е годы в роботизированной сборке сложных изделий, шаговые двигатели для самодельных роботов и станков, в розничной продаже есть настольные металлорежущие станки любых типов, трехмерные принтеры, а главное — есть Интернет, с помощью которого можно найти и заказать любое оборудование для опытов по САС, получить быстрый доступ к любой технической литературе и интересующей информации, найти единомышленников и общаться с другими разработчиками САС. Можно даже воспользоваться трудом автора статьи, который в 1994 году подготовил 500-страничную рукопись «Перспективы создания самовоспроизводящихся автоматических систем (САС)», где обобщил технологии и пути создания САС, известные на то время (см. сайты znanie.podelise.ru/docs/92702/index-111-2.html, Домашняя лаборатория и др.). Начать же надо с ключевого для САС эксперимента, в котором два робота или больше без участия человека

соберут из готовых деталей такого же робота и включат его в производственный процесс. Осуществить подобный опыт проще, чем создать всю САС. И он бы показал реальность самой идеи. Использованы могут быть серийно выпускаемые промышленные роботы (тогда эксперимент обойдется в несколько сот тысяч долларов) или самодельные, управляемые от персонального компьютера (тогда цена составит несколько тысяч долларов или меньше). До тех пор, пока такой эксперимент не закончится успешно, заниматься крупномасштабно САС, наверное, не стоит.

Конечно, эффективность многих технологических процессов на САС будет ниже, чем в традиционной экономике (из-за бедного сырья, малых масштабов производства, применения универсального оборудования и заменителей дефицитных материалов), но это не страшно. Ее продукция и она сама могут в принципе не иметь стоимости, если под этим термином понимать затраты человеческого труда: получая энергию от Солнца и добывая металлы из глины, САС труда не расходует. Вложенный в нее капитал будет небольшим в сравнении с ежегодными производственными инвестициями России и мира, что делает общую конечную капиталоемкость проекта ничтожной, даже если САС будет работать медленно. Поэтому критерии эффективности САС отличаются от всех нынешних экономических построений. При ее создании могут пригодиться даже старые забытые технологии и конструкции тех времен, когда машины строили без легированных сталей и дефицитных цветных металлов; могут пригодиться подходы, применяемые в экстремальных ситуациях, например при эмбарго во время войны, когда немцы синтезировали из окиси углерода и водорода практически все необходимые органические продукты. Надо будет провести инвентаризация тысяч запатентованных технологий, материалов и устройств, которые не нужны современной экономике, но будут полезны для САС.

Скорее всего, стоимость экспериментальной САС минимального состава, собранной из серийно выпускаемого оборудования, не превысила бы 10 млн. долларов, что укладывается в небольшую госпрограмму. Но

маловероятно, что когда-нибудь идея создания САС заинтересует российских чиновников и академиков и подобная госпрограмма будет принята, — в противном случае это давно было бы сделано. Поэтому автор скорее адресует свою статью рядовым инженерам, студентам, предпринимателям. Частные исследователи, используя самодельное, бытовое оборудование и настольный ПК с веб-камерами, размещенные в квартире или в гараже, могли бы создать свою экспериментальную САС, вложив несколько десятков или сотен тысяч долларов, как это было сделано в рамках общественного проекта трехмерной печати вещей «RepRap.org». В новом проекте шанс на победу выше не утех, у кого больше средств, а утех, кто талантливее и упорнее.

Опубликовано в журнале «Химия и жизнь—XXI век» №12 2013 г.