

ПОКА СУЩЕСТВУЮТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ...

В. Е. ЗЮБИН

Современное промышленное предприятие невозможно представить себе без автоматизации. Гибкие производственные системы, роботизированные поточные линии, станки с числовым программным управлением, прокатные станы, контрольно-измерительные комплексы. Весь многообразный робототехнический арсенал призван обеспечить бесперебойное функционирование производства, снизить травматизм, облегчить условия труда и сделать его безопасным. Автоматизация позволяет выполнять производственные операции быстрее, надежнее и точнее, чем человек, а в случае выхода технологического процесса за допустимые границы автоматика четко и хладнокровно выполнит противоаварийные мероприятия. Человек подвержен эмоциям, человек может устать, заболеть, ошибиться - это крайне нежелательные факторы для массового производства. И во многих случаях, когда эти факторы устраняются, повышаются производительность и рентабельность. Затраты на автоматизацию быстро окупаются. Таким образом, широкая автоматизация сегодня имеет очень простое объяснение - это экономически выгодно.

Автоматизация реализуется на цифровых системах управления. В качестве базового элемента систем управления используются программируемые логические контроллеры, или сокращенно - ПЛК. По сути, ПЛК - это

небольшие компьютеры, которые имеют в своем составе микропроцессор и специализированные электронные модули для связи с датчиками и исполнительными органами (двигателями, насосами, клапанами, источниками тока и т.п.)

Как и любой другой компьютер, ПЛК функционирует в соответствии со своей *программой* - управляющим алгоритмом.

Создание программ для ПЛК - дело непростое, так как обычные языки программирования для этого не годятся. Почему? Да потому, что классические языки программирования (Си, Паскаль, Бейсик) ориентированы на решение вычислительных задач, или задач организации пользовательского интерфейса для персональных компьютеров (языки Си++, Объектный Паскаль), в то время как управляющие алгоритмы имеют уникальную специфику. Основная особенность - это *объект управления*, о котором идет постоянный поток информации (поднялась температура, снизилось давление, изменилось положение манипулятора, открылся клапан и т.д.). На все эти события нужно «правильно» реагировать: не только выполнять нужные действия, но



делать это в нужное время. Еще один момент - это параллельность. Дело в том, что практически любой реальный объект управления состоит из нескольких подсистем, которые функционируют более-менее независимо, параллельно. Это необходимо отражать в алгоритме управления: также разделять его на независимые параллельные части. В противном случае, пришлось бы рассматривать все возможные состояния системы целиком, что для серьезных объектов просто физически невозможно задать, в силу так называемого «комбинаторного взрыва сложности».

Вопросами языков для создания управляющих алгоритмов в нашем Институте занимается тематическая группа 16-1 «Языковые средства проектирования информационных систем управления».

В кратком очерке попытаемся обрисовать тернистый путь становления нашей тематической группы.

В 1972 г. возникла серьезная задача: автоматизировать труд конструкторов и создать широкоформатный графопостроитель - устройство для автоматической отрисовки чертежей. Идея графопостроителя следующая: он имеет рабочее поле и головку с пером, перемещаемую по этому полю в соответствии с заранее подготовленным описанием (специальным файлом). На рабочее поле графопостроителя кладется чистый лист бумаги, на котором головка с пером рисует чертеж; после отрисовки лист убирается.

Графопостроитель позволил бы компактно хранить чертежи в удобном цифровом виде, а

при необходимости быстро их рисовать на больших листах бумаги форматом А0 (841 x 1189 мм). Цифровой вид хранения обеспечивал бы повторное использование чертежей, их быструю модификацию в случае необходимости и снимал бы проблему ручного копирования, ухудшающего качество чертежей.

Руководство проектом взял на себя Н.Н.Карлсон. На момент начала работ существовало лишь два прототипа: крайне тяжеловесный и медленный графопостроитель «Вектор», безуспешно разрабатываемый в течение нескольких лет одним из отечественных конструкторско-технологических институтов, и более-менее сносный по скорости графопостроитель производства США, но явно недостаточного формата А3 (всего лишь 297 x 420 мм).

На первый взгляд простое решение - скрестить «ежа с ужом» и увеличить американский графопостроитель до требуемых размеров - оказалось нежизнеспособным. Американцы производили графопостроители максимально возможного размера. Дальнейшее увеличение размеров конструкции делало ее неработоспособной. Алюминиевые направляющие американского графопостроителя, используемые для перемещения головки, при увеличении длины начинали гнуться, а их ужесточение и наращивание вело к созданию клона, уже имеющегося в наличии неповоротливого монстра.

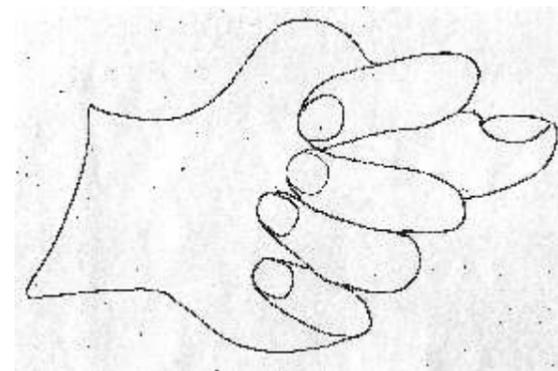
Выход из создавшейся ситуации нашел тогда еще молодой конструктор С.А. Кузнецов, который предложил революционный подход: максимально облегчить конструкцию и исполь-

зовать в качестве базы гибкие тросы. Разумеется, сразу же нашлись скептики, заявившие, что если американцы так не делают, значит, идея с тросами бесперспективна. Предлагаюсь даже закрыть проект.

Вопреки прогнозам подход оказался весьма продуктивным и в результате был создан уникальнейший прибор, который и по скорости отрисовки чертежей превосходил имеющиеся отечественные и зарубежные аналоги. Графопостроитель получил скромное имя «Планшет».

Но потенциал, заложенный в конструкции графопостроителя, не усмирил скептиков. Они переключились на критику программного обеспечения. Сначала принципиально не верили в его создание. А когда программное обеспечение все-таки появилось, стали выискивать и указывать на недостатки. В общем-то, это даже сыграло положительную роль.

Сначала графопостроитель умел рисовать только круги и прямые линии, что в общем-то полностью перекрывало возможности стандартных инструментов конструктора - циркуля и линейки. Тем не менее критики вспомнили о лекалах, предназначенных для проведения или проверки кривых линий при чертёжных и конструкторских работах. Как и убеждал Н.Н. Карлсон, что во всем мире лекала не имитируются на графопостроителях, критики нудно продолжали гнуть свое. «Проще сделать, чем объяснять» - решил Николай Николаевич и реализовал лекала на «Планшете» с помощью специальных математических функций - кубических сплайнов, которые превышали возможности стандартных лекал. Благодаря этому последнему улучшению появилась «победная фига», отрисованная с помощью сплайнов и направленная в сторону окончательно посрамленных недоброжелателей.



Результат работы графопостроителя «Планшет», демонстрирующий скептикам наличие функции сплайн-интерполяции.

На этом тестирование возможностей «Планшета» не закончилось. После серии испытаний на различной конструкторской документации разработчики пришли к заключению, что можно вывести его «в люди», приступить к тиражированию. Для демонстрации «Планшета» дирекции был выбран весьма оригинальный метод: на бланке Института был напечатан приказ о премировании коллектива разработчиков в размере месячного оклада за успешное выполнение задания. Подпись директора Института (академика Юрия Ефимовича Нестерихина), утверждающая приказ, была выполнена... на самом графопостроителе. При очередном вопросе Юрия Ефимовича о состоянии работ по «Планшету» этот приказ и был предложен ему для ознакомления. Академику очень понравилась идея... по форме. Некоторое время он внимательно изучал «свою» подпись, а потом без объяснений изъял «приказ» для своего архива.

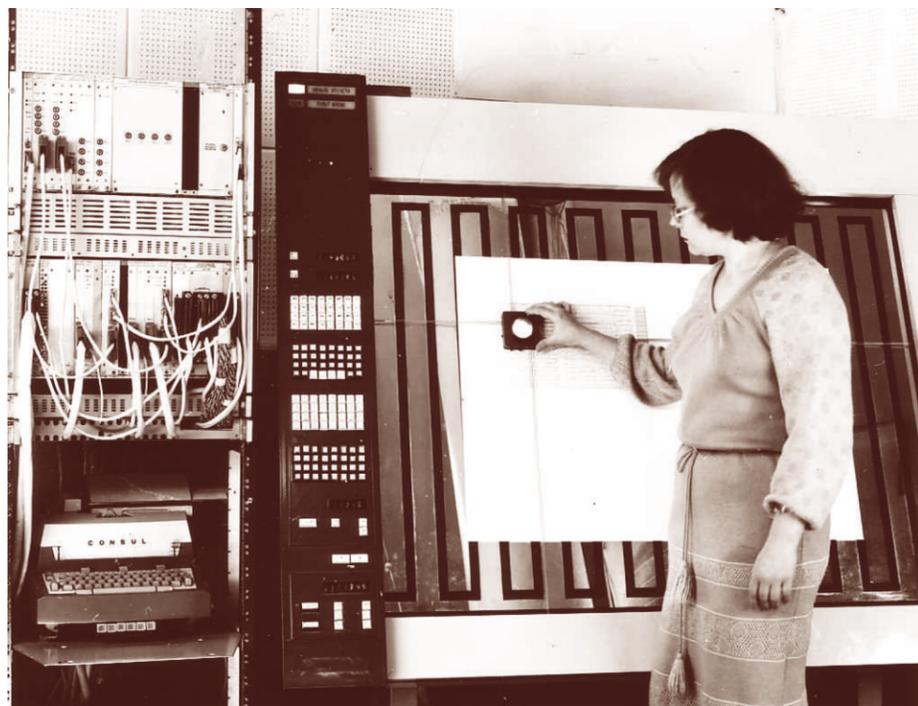
По результатам работы было изготовлено несколько «Планшетов», которые поступили в эксплуатацию на ведущие отечественные заводы. Несколько «Планшетов» в силу их дефицитности было изготовлено самими заинтересованными предприятиями по имеющейся документации.

В чем положительная роль этих работ? Был накоплен опыт серьезных разработок с внедрением, создана база для дальнейшего развития. Появившееся математическое и программное обеспечение позволяло создавать устройства еще более сложного класса - станки с числовым программным управлением. С 1985 г. тематической группой (тогда это была тематическая группа 2-1-1) был создан числовой программный комплекс для фрезерно-расточного станка.

Управляющий комплекс подключили к реальному заводскому фрезерно-расточному



А. В. Астанков программирует числовой программный комплекс для фрезерно-расточного станка.



Графопостроитель «Планшет».

станку. Установка станка вылилась в отдельную историю: станок был настолько большой по габаритам, что «не лез ни в какие ворота». Эту проблему решили так: в подвале Института, разобрали стену, установили станок, затем стену вновь восстановили.

Тематическая группа разрослась до 15 человек.

Были открыты новые направления: многопроцессорные системы на базе магистралей Multibus и VME, системное программное обеспечение (операционные системы и мониторы), системы автоматизированного проектирования, лазерная интерферометрия, автоматическое регулирование, следящие системы и интерполяторы, базы данных, проблемно-ориентированные языки и трансляторы.

В результате был создан гибкий программно-аппаратный комплекс «Сплайн», настраиваемый на широкий спектр станков. К величайшему несчастью, момент внедрения совпал с «победным шествием» перестройки. Практически законченная работа оказалась не востребована. Предприятия разорялись повсеместно. Производственная база резко сужалась. Начался кризис неплатежей, сопровождающийся гиперинфляцией и прочими прелестями шоковой терапии. В условиях, когда нечем было платить зарплату рабочим, о развитии производственной базы не могло быть и речи.

Тематическая группа поставляла кадры для брокерских контор, ваучерных фондов, закрытых и открытых акционерных обществ и банков. Кто «встроился» в бартерную цепочку, кто перешел в разряд «челночников», а кто и занялся приусадебными участками, чтобы накормить семью. Все это были первоклассные специалисты в области автоматизации. Численность группы катастрофически уменьшалась.

Впрочем, наши сотрудники участвовали не только в проектах типа «купи-продай», и тут в качестве приятного исключения стоит отметить компанию НПК «Контакт», в котором при участии наших бывших коллег Юрия Ильича Смелянского, Александра Васильевича Астанкова и Юрия Максимовича Шелепова была развернута весьма серьезная производственная база. Сейчас НПК «Контакт» занимает лидирующее положение на рынке корпоративных решений по организации информационной инфраструктуры предприятий (Новосибирская область и Алтайский край). Среди клиентов НПК «Контакт» филиалы компаний МТС и Билайн, Сибкадембанка.

Несмотря на жестокий удар со стороны «реформ», научный потенциал нашей группы удалось сохранить, переключившись на другую тематику - создание систем управления для

ростовых установок по выращиванию монокристаллического кремния.

Монокристаллический кремний, пожалуй, второй по важности материал для нашей цивилизации углеводородного типа (первый - нефть). Кремний служит основой для нано- и микроэлектроники, оптоэлектроники, солнечной энергетики и силовой электроники. Современные научные приборы, компьютеры, сотовая связь, Интернет, бытовая техника - все эти привычные для нас вещи основываются на использовании кремния, и пока их невозможно создать иначе. Кремниевые пластины преобразуют солнечный свет в электричество, что вселяет в нас надежду создать экологически чистые и безопасные способы получения энергии. Технологический уровень производства кремния является не только важнейшим компонентом научной и производственной базы страны, но и существенным элементом ее национальной безопасности.

Заказчик (а это был знаменитый Красноярский машиностроительный завод, или просто Красмаш) вышел на нас весьма непросто, через тернии разочарований. И договор с нами был заключен только после тщательного взвешивания, придирчивого ознакомления с предыдущими работами и оценки потенциала группы.

Дело в том, что Красмаш, исторически выполняющий заказы Военно-промышленного комплекса, владел уникальными технологиями изготовления крупногабаритных герметичных изделий, которые позволяли создавать «железо» ростовой установки, но для разработки систем управления Красмаш был вынужден искать подрядчиков. Так вот, мы оказались отнюдь не первыми подрядчиками. До нас за проблему автоматизации процесса выращивания монокремния уже брались три весьма солидные «конторы». И трижды договоры заканчивались безрезультатно. Провозившись с проблемой два-три года, исполнители объявляли, что деньги закончились, а проблема не имеет решения, и глубокомысленно добавляли, что «отрицательный результат в науке - это тоже результат». Разумеется, такой ответ заказчика не устраивал, тем более что вопреки «результатам» за рубежом уже стали появляться автоматизированные установки такого класса.

Несмотря на накопленный скепсис, заказчик, ознакомившись с нашими наработками, все же решил, что на этот раз все получится, заключил с нами договор и не прогадал.

Ради справедливости следует отметить, что серия неудач, сопровождавшая работу, в общем-то была оправдана сложностью поставленной задачи. Действительно, процесс

выращивания монокремния очень капризен. Удовлетворительных математических моделей, пригодных для практического использования, не существует. Управление ведется по большому числу параметров (температура, давление, расход инертного газа, угловые скорости вращения, прецизионные перемещения). Конечный продукт должен удовлетворять длинному списку критериев: тут и очевидные требования по геометрии выращенного кристалла, и разнообразные требования по свойствам полученного материала (равномерность распределения кислорода и легирующих добавок, удельная проводимость, длина свободного пробега электрона, структурное совершенство и т.д.).

После заключения договора, названного «ЦУК» (цифровой управляющий комплекс) начались суровые, но интересные будни. Появилось финансирование, и группа стала снова расти. К работе подключились Вячеслав Олегович Криворучко, Николай Викторович и Виктор Николаевич Котовы (Котов-младший и Котов старший), вернулся с «вольных хлебов» Дмитрий Владимирович Булавский. К работе подключались и сотрудники других подразделений (всего около 20 человек). Через 8 месяцев система управления была создана и поставлена на территорию Красмашзавода.

Система была построена на микроконтроллерах фирмы Intel 196 серии. Кроме процессорных модулей разработаны и изготовлены модули аналоговых преобразователей (ЦАП / АЦП), модули управления перемещением и вращениями, модули дискретных входов/выходов. Ядро управляющего комплекса - программируемый контроллер - представляло собой четырехпроцессорную систему, расположенную в крейте с шиной Multibus. Интерфейс оператора был реализован на ПК типа IBM PC 286, что по нынешним временам кажется

нереальным. Система была расположена в пыле- и влагозащищенном корпусе. Несмотря на слабую элементную базу, система представляла пользователю полноценный графический интерфейс.

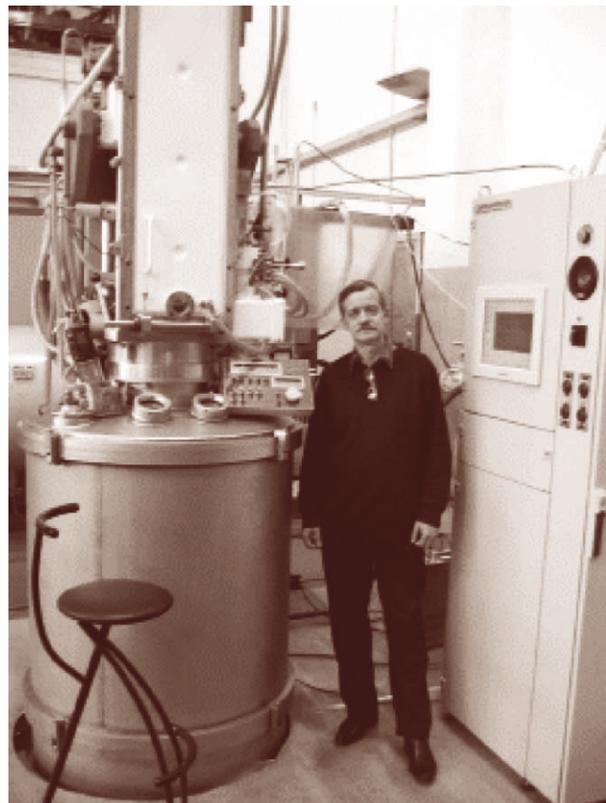
Особую проблему представляло программное обеспечение. Писать его на стандартных языках не представлялось возможным. В общем-то основные проблемы с предыдущими попытками создать такую систему были связаны именно с программным обеспечением. Если для интерфейса оператора более-менее удовлетворительное решение могло быть получено с помощью объектно-ориентированного языка Си++, то для алгоритма управления этот вариант не проходил. Сложный объект управления, массовый параллелизм, необходимость обеспечить повышенную модифицируемость алгоритма заставили использовать созданный ранее в проекте «Сплайн» специализированный язык СПАРМ (Средство программирования алгоритмов работы микроконтроллеров). При использовании языка СПАРМ, применявшегося перед этим только для станков с ЧПУ, был получен поразительный результат: его не пришлось адаптировать под задачу. Несмотря на сложность алгоритма (а в системе присутствовал практически весь типовой набор сигналов и органов управления, характерных для широкого спектра систем управления - насосы, клапаны, двигатели, регуляторы, источники питания и т.д.), язык позволил справиться со всеми нюансами. Алгоритм управления был создан в срок и в соответствии со спецификациями заказчика.

Начались плавки. Первые же неудачи показали, что спецификации заказчика содержали ошибки. Начались коррекции алгоритма. Совместно с этим росло понимание того, как же должна выглядеть система. Стала очевидной необходимость комплексного подхода к проб-

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ

Цифровой управляющий комплекс рядом с установкой по выращиванию кремния 221УА100, созданный нашей группой.





Юрий Викторович Елисеев рядом с установкой по выращиванию и цифровым управляющим комплексом.

леме: автоматизации требовал не только нижний (цеховой) уровень программного обеспечения, но и уровень технолога по созданию технологических программ выращивания. Выяснилось, что эксперимент составляет неотъемлемую часть эксплуатации и также должен быть автоматизирован. В рамках договора был создан пилотный проект автоматизированного ПО технолога - программный комплекс «Гефест», позволяющий организовать итерационный цикл по отработке технологических программ со схемой: «плавка и накопление информации» - «анализ и обработка архива плавки» - «создание коррекция технологической программы для следующей плавки». Плавки продолжались. Вышли на режим получения монокристаллов кремния заданных характеристик.

На плавках отрабатывались не только технологические программы и совершенствовался алгоритм управления. Параллельно совершенствовалась и конструкция установки, что существенно сказывалось на темпах работы, так как коррекция материальной части всегда занимает больше времени, чем коррекция программ.

Несмотря на естественные для отношений «заказчик-исполнитель» споры и противоречия, у нас с заказчиком сложились конструктивные отношения. Для представителей «высокой науки» многие вещи оказались весьма поучительными: принципы ведения конструкторской документации, культура производства, методы обнаружения и порядка устранения дефектов. Все это было для нас в новинку и очень полезно. Чего греха таить, в «фундаментальной науке» часто закрывают глаза на эксплуатационные характеристики конечного продукта, в то время как они самым серьезным образом влияют (и даже определяют) на судьбу разработки: пойдет ли она в жизнь или зачахнет на уровне НИР.

Особую благодарность следует выразить нашим заказчикам с Красмаша Владимиру Ильичу Гордееву, Юрию Викторовичу Елисееву, Александру Яковлевичу Китаеву и всем тем, кто терпеливо и обстоятельно прививал нам понимание специфики серийных изделий и мудрости ГОСТов.

По окончании работ (1997 г.) возник серьезный провал в финансировании работ. По результатам опыта проведенных плавки пришли к выводу о необходимости коррекции установки в целом. Пока Красмаш продумывал новую концепцию и искал финансирование на продолжение работ, у нас начались разброд и шатания, усугубившиеся дефолтом 1998 г. В



ЦУКМ 150.

Канаду эмигрировали В. О. Криворучко и Ольга Иоффе (Ковязина). Ушел на вольные хлеба Д.В. Булавский. Воссоединились со своими коллективами остальные участники проекта.

Кстати, этот вынужденный простой можно было использовать с пользой. Так, В. Е. Зюбин за это время написал и защитил диссертацию кандидата технических наук, тем самым подытожив десятилетний опыт разработки и использования специализированных языковых средств.

В 1999 г. при деятельном содействии директора Института С.Т. Васькова тематическая группа получила свое нынешнее официальное название «Языковые средства проектирования информационных систем управления».

В 2002 г. Красмаш нашел финансирование на продолжение проекта. И винтики снова закрутились. Ко времени реанимации работ созданная система морально устарела, интерфейс под операционной системой MS DOS воспринимался как анахронизм. Многие комплектующие были сняты с производства. Возникла необходимость провести весь цикл разработки аппаратной части «с нуля». Помогать нашей группе подрядилась лаборатория 16 «Интегрированных информационных систем управления» во главе с А. А. Лубковым. Мы же полностью переключились на программную часть системы алгоритма и разработку концепции программно-организационного обеспечения.

Новый вариант системы «ЦУКМ» (цифровой управляющий комплекс модернизированный) получил название «Сибирячка». Созданная за полтора года система до сих пор может считаться передовой, и уж точно не уступающей мировым аналогам: удобный графический интерфейс, голосовые сообщения, видеоизображения, сенсорный экран, комплексный подход к автоматизации всего процесса выращивания - от создания технологических программ до их паспортизации...

Программно-аппаратный комплекс, говорящий с оператором, обеспечивает не только все удобства мультимедиа, но и отличается высокой надежностью и устойчивостью к отказам. Это было достигнуто за счет распределенной архитектуры. Все мультимедийные функции были реализованы под операционной системой Windows, а все критические функции системы были вынесены в сверхнадежный контроллер, запрограммированный на языке Рефлекс. Этот язык, как несложно догадаться, создан в развитие проекта СПАРМ.



С. А. Кузнецов

Вот вкратце и вся история нашей группы. У созданной системы имеются заказчики, мы занимаемся ее поддержкой и сопровождением. Среди текущих проектов тематической группы перспективными представляются работы по автоматизации моделирующего комплекса выращивания монокристаллов, проводимые совместно с Институтом теплофизики СО РАН. В планах осуществить автоматизацию процесса выращивания монокристаллов корунда. В тематической группе много студентов, занимающихся развитием языка Рефлекс и увлеченно создающих на его базе полезные приложения.

Не исключаем расширение тематической группы до уровня лаборатории. Язык Рефлекс уверенно и динамично развивается, недавно были выявлены новые интересные возможности его применения на практике. Мы уверенно смотрим в будущее. Пока существует автоматизированные системы, проблема формальных языков для их создания будет оставаться чрезвычайно актуальной.