

**КОНЦЕПЦИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАЗРАБОТКИ
МЕХАНИЧЕСКИХ, ЭЛЕКТРОННЫХ И ПРОГРАММНЫХ КОМПОНЕНТОВ
ВАКУУМНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**CONCEPT OF COMPLEX PARALLEL DEVELOPMENT OF MECHANICAL,
ELECTRONIC AND SOFTWARE COMPONENTS OF VACUUM PROCESS
EQUIPMENT**

DOI:10.22184/

В.Т.Рябов / v_ryabov@mail.ru

V.T.Ryabov

МГТУ им. Н.Э.Баумана, г.Москва

Изложена концепция анализа и увязки материальных, энергетических и информационных потоков, связывающих различные элементы и системы оборудования, позволяющая на ранних этапах проектирования поставить четкие технические предложения на дальнейшую согласованную проработку аппаратной части и программного обеспечения.

The concept of analysis and linkage of material, energy and information flows connecting the various components and systems of equipment is presented, which allows, at the early stages of design, to put clear technical proposals for further coordinated development of hardware and software.

Ключевые слова: *вакуумное технологическое оборудование, материальные, энергетические и информационные потоки, ресурсная и процессная модели машины, информационно-управляющая сеть, аппаратное и программное обеспечение*

Key words: *vacuum process equipment, material, energy and information flows, resource and process models of the machine, resource and process models of the machine, management information network, hardware and software.*

В разработке современного вакуумного технологического оборудования, как правило, принимают участие три группы специалистов: инженеры механики вакуумщики, разрабатывающие машину в целом и ее целевые механизмы, инженеры электрики и электронщики, разрабатывающие систему энергообеспечения и аппаратную часть системы управления и инженеры программисты, разрабатывающие программное обеспечение. Исходя из заданной технологии, в большинстве случаев первоначально создаются механические компоненты машины – исполнительные механизмы, затем система управления и, наконец, ее программное обеспечение. Обратные связи в этой последовательности, как правило, реализуются слабо. Если разработчик аппаратной части системы управления и может в какой-то степени повлиять на концепцию построения механических компонентов машины, конструкцию отдельных механизмов, то ожидать влияния программиста практически не приходится. Одновременное согласованное проектирование механических, электронных и программных компонентов, исходя из заложенных в оборудование процессов, устраняет избыточность, не реализованную в параметрах машины, и позволяет сократить сроки разработки.

Важно еще на ранних стадиях проектирования рационально распределить функции между ресурсами различного рода и сформулировать четкие технические задания на них, чтобы повысить качество, распараллелить разработку и ускорить ее окончание. Это концепция параллельной (комплексной) проработки компонентов машины в противовес еще распространенной до настоящего времени концепции последовательной проработке, когда лишь на последней стадии, когда машина практически готова, разрабатывается ее программное обеспечение.

Методы и средства комплексной разработки являются предметом рассмотрения автора практически с самого начала широкого использования средств вычислительной техники в технологическом оборудовании [1]. Они прошли практическую апробацию на целом ряде разработок, доведенных до изготовления действующих образцов оборудования [2–5]. Опирается комплексная разработка на классический системный подход, в котором работа машина представляются как взаимодействие материальных, энергетических и информационных потоков между системой исполнительных механизмов, централизованной системой их энергообеспечения и управления (рис. 1).



Рис. 1. Взаимодействие систем технологического оборудования.

Ресурсы во многом, но не целиком, определяют протекающие в системе процессы. Потому графическое отображение взаимосвязи элементов системы через материальные, энергетические и информационные потоки (ресурсная модель системы, ее структура) должно дополняться описанием не только процессов, протекающих в каждом из ее элементов, но и описанием взаимодействия этих элементов внутри структуры (процессная модель системы). Причем, чем сложнее и гибче структура, тем большее значение в ее описании приобретает процессная модель

Ресурсная модель, согласно Единой Системе Технологической Подготовки Производства постоянно уточняется при разработке машины. Начиная с технического задания (ТЗ) и технического предложения (ТП), ресурсная модель проходит стадии эскизного, технического и рабочего проекта и завершается рабочими чертежами и программами обработки отдельных деталей. Также и процессная модель должна преследовать ряд целей, как по расчету и уточнению принципиальных и конструктивных решений, так и по постановке ТЗ и ТП на программное обеспечение. Процессная модель на стадии рабочего проекта должна завершаться отлаженным кодом программного обеспечения технологической машины. Уметь описывать взаимодействия элементов технологической машины различными способами - требование к современному разработчику.

Каждый элемент машины имеет целевой, материальный, энергетический и информационный интерфейсы. Целевой интерфейс – это назначение элемента в машине, выполняемые им функции, механический интерфейс – габариты и способ крепления, энергетический интерфейс – подводимые потоки энергии и их характеристики, информационный интерфейс – информационные потоки и протоколы обмена. Определить элемент или подсистему технологической машины и сформулировать четкое техническое задание на его дальнейшую проработку - значит полностью определить его целевой, механический, энергетический и информационный интерфейсы. Это основная задача инженера разработчика оборудования электронной техники, решаемая в процессе

комплексной разработки. Именно целевой интерфейс в конечном итоге определяет протекающие в элементе процессы и при проработке процессной модели окончательно превращается в загрузочный модуль его программного обеспечения.

Проработка машины идет как процесс последовательного уточнения процессной и ресурсной моделей до тех пор, пока не будет полностью определена ее комплексная принципиальная схема (ресурсная модель) и процессы, реализуемые в элементах, не доведены до описания последовательными процессами (ТЗ и ТП на программное обеспечение). Начинается разработка с создания комплексной принципиальной схемы (КПС) механических компонентов – целевых механизмов машины. При этом у каждого элемента схемы выделяется и описывается целевой, механический, энергетический и информационный интерфейсы.

На рис. 2 показан вид экрана компьютера при разработке КПС в среде ACAD. Видно, что схема заполнена множеством выносок. Это и есть отображение энергетических и информационных потоков. Они формируются, как блоки с атрибутами и сведения о них хранятся в чертеже, при этом, не загромождая его. Характеристики потоков средствами ACAD могут редактироваться и собираться в таблицы формата Excel.

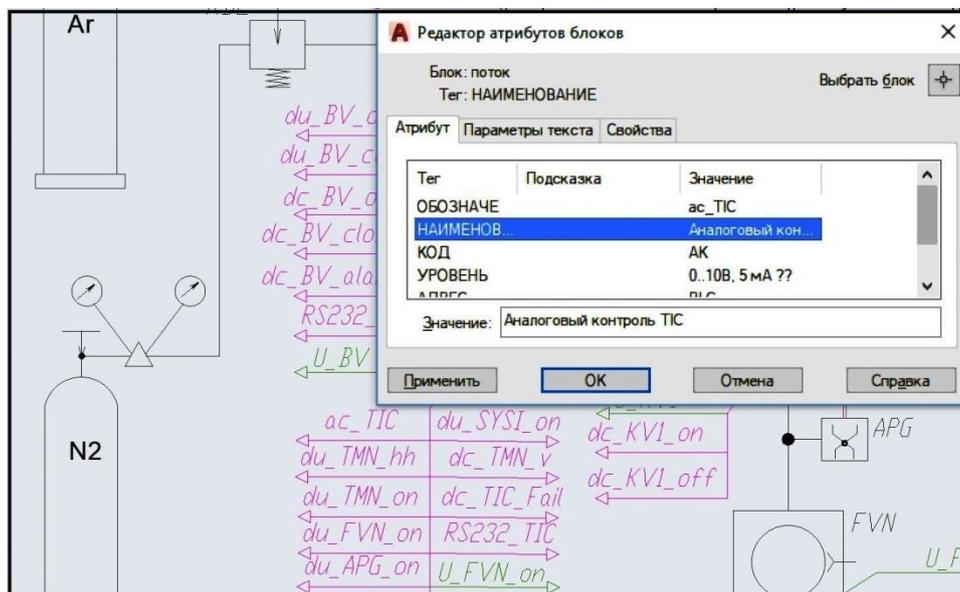


Рис. 2. Разработка КПС в среде ACAD.

Перечень энергетических и информационных потоков с их характеристиками является основой последующей разработки КПС системы энергообеспечения и управления. Все энергетические потоки группируются по видам, при необходимости корректируется система исполнительных механизмов. Намечаются элементы системы энергообеспечения: высоковольтный модуль, сетевой модуль, низковольтные модули для питания датчиков и контроллеров и др. Рассчитываются потребные характеристики этих модулей и добавляются информационные потоки, необходимые для управления соответствующими потоками энергопитания и для контроля состояния элементов.

КПС системы энергообеспечения также целесообразно разрабатывать в ACAD, сохраняя характеристики потоков в блоках с атрибутами. Одной из характеристик потока является его адрес – куда он ведет. Так создаются перекрестные ссылки между системой целевых механизмов и системой их энергообеспечения. Формально легко проверяется, все ли требуемые потоки энергии обеспечены источниками.

На завершающем этапе проработки ресурсной модели, исходя из перечня информационных потоков от системы целевых механизмов и централизованной системы энергообеспечения, разрабатывается КПС системы управления, и окончательно увязываются потоки внутри технологического оборудования. Средства обработки

информационных потоков объединяются в развитую информационно-управляющую сеть согласно предложенному в [6] шаблону. Аппаратные требования к каждому из контроллеров сети определены перечнем обрабатываемых информационных потоков.

Параллельно с ресурсной моделью разрабатывается и процессная модель. В ней ведущая роль отводится узловому контроллеру, распределяющему в жестком миллисекундном такте задания между локальными контроллерами и управляющему рядом механизмов (рис. 3).

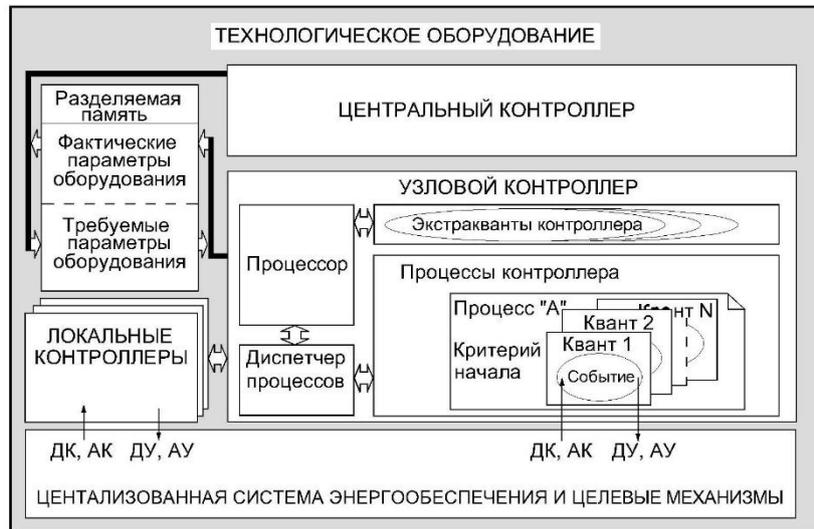


Рис. 3. Схема взаимодействия контроллеров информационно-управляющей сети вакуумного технологического оборудования.

Центральный и узловой контроллеры сети обмениваются между собой по протоколу Modbus разделяемой памятью – массивом 16-и разрядных слов, содержащим фактические и требуемые параметры оборудования. Зону фактических параметров заполняет узловой контроллер, а зону команд и требуемых параметров – центральный. При этом программу узлового контроллера следует строить так, чтобы минимизировать его работу с реальными числами и избегать сложной обработки изображений. Это забота центрального и локальных контроллеров.

За основу процессной модели принято описание работы машины взаимодействующими последовательными процессами [7], состоящими из последовательности событий и инициированных ими действий. Событие, это момент фиксации каких либо значимых изменений в состоянии объекта управления. Событие происходит мгновенно и два события контроллером одновременно не могут быть зафиксированы. Действия, напротив, протяженны во времени. Событие может быть системным или локальным. Локальное событие принадлежит только рассматриваемому процессу, системное является результатом действия ресурса, принадлежащего другому процессу, либо инициирует другой процесс. Именно через системные события и организуется взаимодействие и синхронизация процессов.

Квантом называется участок процесса между двумя системными событиями. Квант выполняется контроллером непрерывно и после своего завершения передает управление диспетчеру задач (процессов). Кванты взаимодействуют с элементами объекта управления через элементарные сигналы обмена: дискретное или аналоговое управление (ДУ, АУ) или контроль (ДК, АК). По способу перезапуска кванты делятся на синхрокванты, перезапускаемые через заданные интервалы времени и интеркванты, запускаемые внешними системными событиями, которые вызывают прерывания процессора. Синхрокванты и интеркванты перезапускаются диспетчером задач, входящим в состав программного обеспечения, в порядке очереди в соответствии с предписанными им

условиями запуска. Особую группу составляют экстракванты, которые запускаемые диспетчером задач вне очереди сразу после фиксации прерывания. После завершения экстракванта трудно гарантировать восстановление нормальной работы программного обеспечения, поэтому экстракванты рекомендуется использовать только для фиксации и мгновенной реакции на аварийные ситуации, после которых работа оборудования завершается.

Изложенные здесь основы комплексной разработки вакуумного оборудования изучаются на кафедре «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках курсов «Системы автоматического управления» для бакалавров и «Микропроцессорные системы управления» для магистров. На лекциях, семинарах и лабораторных работах на реальных примерах рассматривается разработка аппаратного обеспечения информационно-управляющих сетей технологического оборудования. Изучаются методы расчета и практической реализации линий связи между контроллерами и элементами объекта управления для передачи элементарных сигналов обмена: аналогового и дискретного контроля и управления. Рассматриваются типовые протоколы обмена по последовательным каналам связи и практические приемы организации обмена на пользовательском уровне. Осваиваются методы программирования, трансляции и отладки управляющих программ для различных контроллеров сети. На завершающем этапе обучения магистрами выполняется курсовой проект, посвященный постановке технических предложений на общую компоновку механических компонентов машины, системы их энергообеспечения и управления, выдаче технического задания и предложения на состав ее программного обеспечения.

Эта концепция параллельной проработки была неоднократно опробована и при выполнении НИР на кафедре. Например, на базе малогабаритной универсальной напылительной установки была создана автоматизированная машина с дистанционным доступом УВН-1М [8], управляемая сетью универсальных и специальных контроллеров, доступных для связи из участка локальной сети кафедры. При этом можно не только управлять установкой с компьютера, подключенного к сети кафедры, но и наблюдать за процессом работы с помощью управляемой телекамеры.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Рябов В.Т. Методы и средства комплексной проработки механических, электронных и программных компонентов технологического оборудования. Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение. 1992, №3, с.45–55.
- 2.Рябов В.Т., Рафиков Р.Г. Технологические лидеры в электронном машиностроении. Электронная промышленность.1989г., №7, с.53–55.
- 3.Ковалев Л.К., Ковалева Н.Л., Веселова Е.Л., Рябов В.Т. Синтез структуры систем технологического оборудования (на примере установки низкотемпературного обезвоживания в вакууме). Справочник. Инженерный журнал. №3, 2002, с. 10–16.
- 4.Ковалев Л.К., Ковалева Н.Л., Веселова Е.Л., Рябов В.Т. Синтез структуры систем технологического оборудования (на примере установки низкотемпературного обезвоживания в вакууме). Справочник. Инженерный журнал. №4, 2002, с. 8–14.
- 5.Панфилов Ю.В., Рябов В.Т., Сидорова С.В. Нанотехнологическая вакуумная установка модульного типа. Наноинженерия, 2014, №8, с.14–18.
- 6.Рябов В.Т. Инструментальные средства программирования систем управления вакуумным технологическим оборудованием. Наноиндустрия. Спецвыпуск 2020 (2s, том 13), с.101–106.
- 7.Хоар Ч. Взаимодействующие последовательные процессы: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. – 264 с.
- 8.Панфилов Ю.В., Рябов В.Т., Сидорова С.В., Колесник Л.Л., Моисеев К.М. Интерактивный учебно-научный комплекс для выполнения работ по формированию наноструктурированных тонкопленочных покрытий. Наноинженерия, 2012, №3, с. 31–37.