

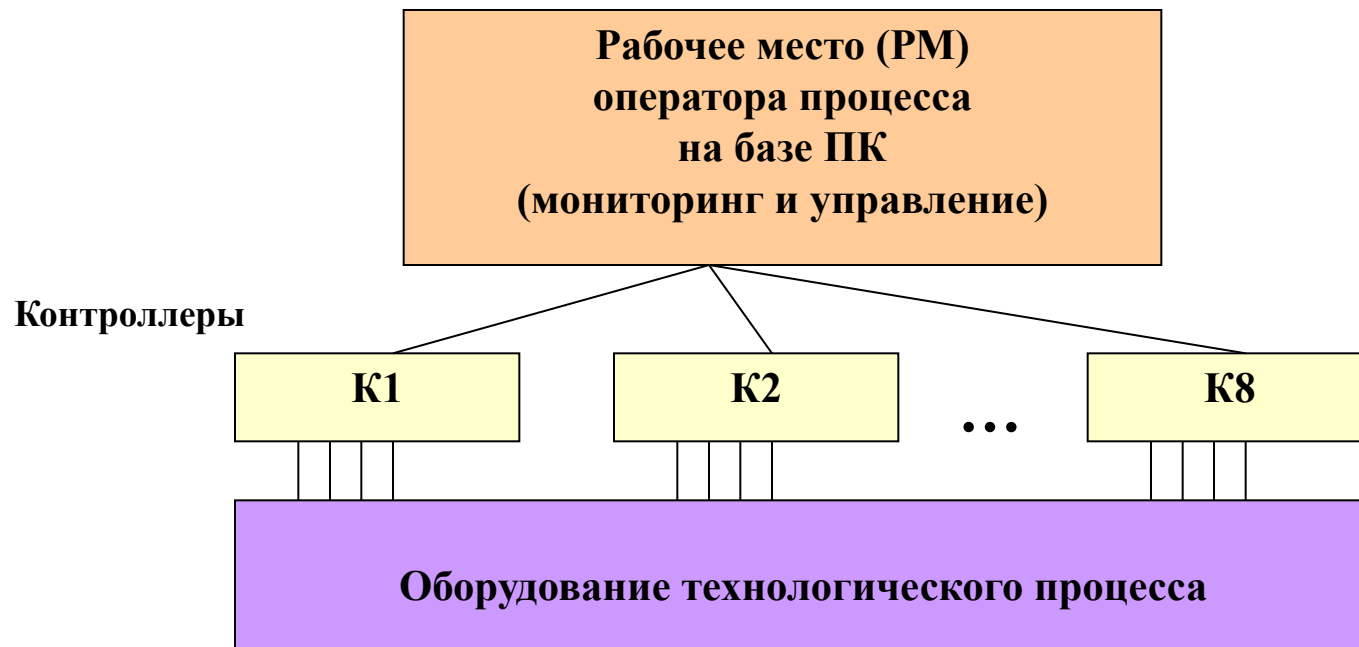
**Система
моделирования сложных
технических объектов**

Содержание

1. История развития
2. Тренажеры
3. Объекты моделирования
4. Технология моделирования и разработки комплекса
5. Типичный состав программного обеспечения тренажерного комплекса
6. Обобщаемые результаты
7. Адаптация к решению новых задач
8. Видимые области разработок
9. Порядок разработки

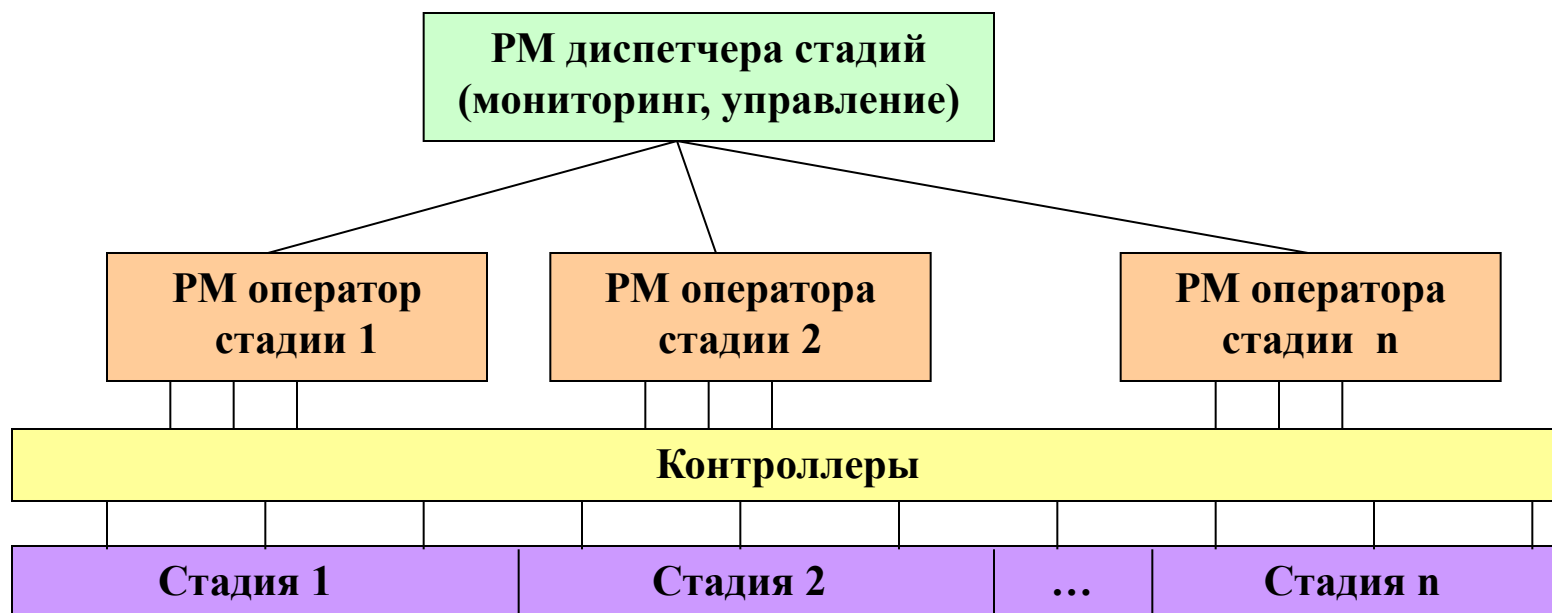
История развития

Около 18 лет тому назад в ЦПС собралась группа молодых специалистов имеющих теоретические наработки по системам управления химико-технологическими процессами и желание воплотить их на практике. В результате удачного стечения обстоятельств появился Заказчик в лице Череповецкого завода по производству минеральных удобрений. Как следствие после нескольких лет работы мы создали систему управления технологическими процессами с организацией рабочего места оператора процесса на персональном компьютере на базе 286 процессора, работающего в среде MS DOS.

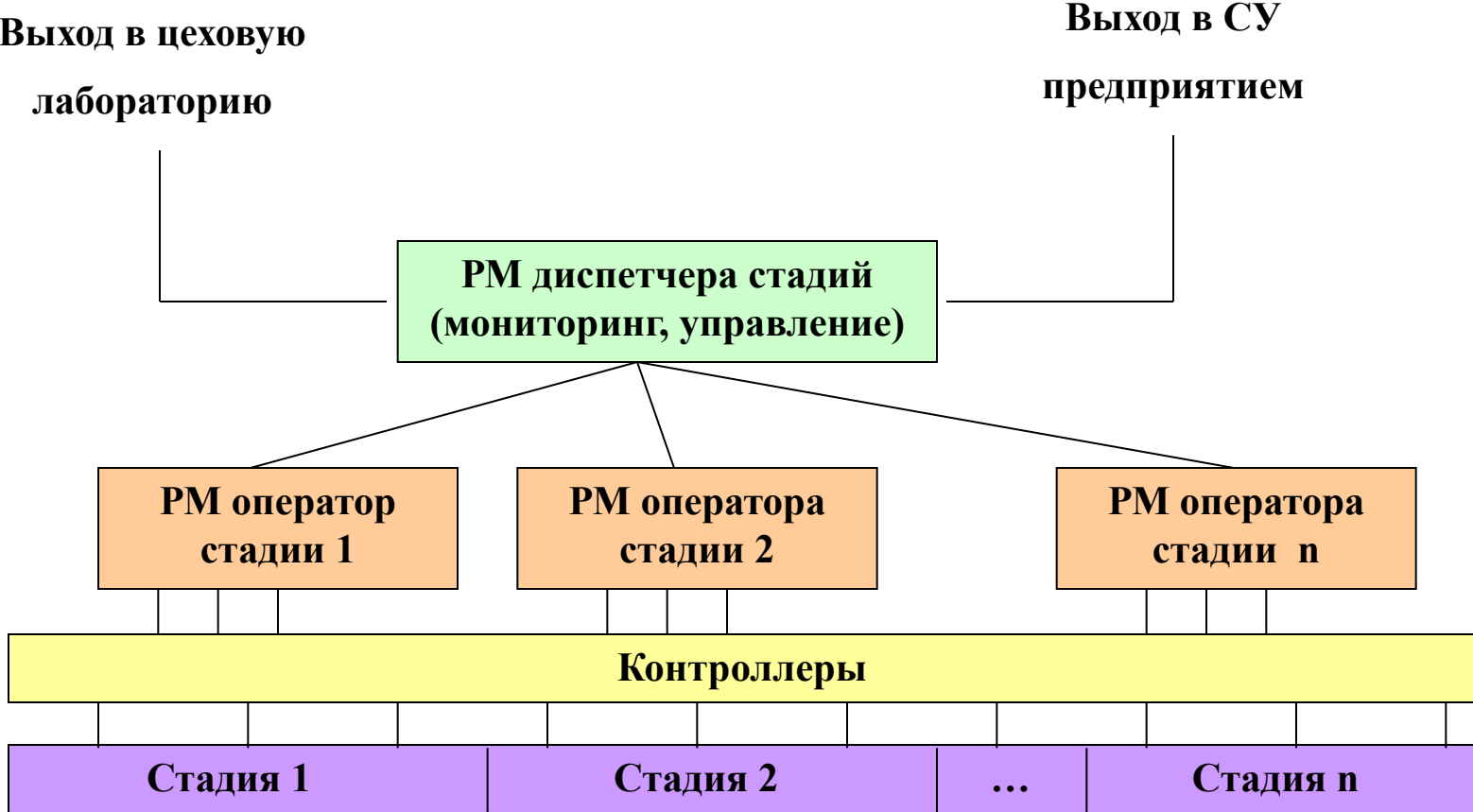


Управление процессами осуществлялось в разомкнутом контуре управления, т.е. выработка управляющих воздействий полностью выполнялась оператором процесса. Однако в ряде случаев требовалось строить и модели процессов или отдельных их участков, например для выполнения косвенных измерений или решения задач оптимизации режимных параметров, что довольно типично. По данным, получаемым непрерывно с процесса модель можно адаптировать, обеспечивая необходимую ее адекватность как во времени, так и в рабочем диапазоне значений параметров процесса.

Полученные положительные результаты определили решение производителей о развитии системы в результате была создана двухуровневая система управления крупными многостадийными процессами (производствами), где действия операторов отдельных стадий процесса могут корректироваться на более высоком уровне управления – уровне диспетчерования стадий.



Дальнейшее развитие системы определило ее дополнение связью с цеховой лабораторией для оперативного занесения в систему управления данных аналитического контроля и постройкой канала связи (использовалась линия модемной связи) с системой управления предприятием



Системы управления технологическими процессами имеют ряд специфических особенностей которые ставят перед их разработчиками ряд серьезных задач. Основной особенностью таких систем является необходимость работы в реальном масштабе времени т.е. система должна обеспечивать обработку поступающей в нее информации со скоростью не ниже скорости развития событий на технологическом процессе.

Система должна одновременно обеспечивать по меньшей мере:

- **получение данных с процесса;**
- **визуализацию значений параметров;**
- **автоматический контроль значений параметров;**
- **передачу управляющих воздействий оператора на процесс;**
- **протоколирование значений параметров процесса;**
- **вычисление показателей качества ведения процесса;**
- **решение типичных задач;**

Все эти задачи должны были решаться как правило в условиях ограничений на вычислительные ресурсы – ресурсы производительности и оперативной памяти (компьютеры на базе 286 процессоров имели 640 К оперативной памяти и около 40 Мб памяти на диске)

Основные результаты разработки СУ ТП

Разработка систем в условиях жестких ограничений требовала дополнительных усилий направленных на отработку и совершенствование алгоритмических решений. В результате был накоплен опыт:

Архитектурного построения распределенных систем, работающих в реальном времени

Построения алгоритмов протоколирования значительных объемов информации в темпе ее поступления

Диспетчирования параллельно исполняемых задач

Численной реализации алгоритмов решения систем уравнений, оптимизации и др.

Построения быстрых алгоритмов в условиях дефицита вычислительных ресурсов

Построения алгоритмов организации обмена информацией в сети компьютеров с дефицитом пропускной способности

Реализации систем мониторинга (рабочих мест операторов) на основе их параметрической настройки в специально разработанной для этого среде

Внедрения

Наша система управления технологическими процессами была представлена на рынке России в 90-х годах. Применение:

Производство минеральных удобрений (более 40 инсталляций на различных технологических процессах завода – от водоочистки в котельной до управления печами обжига)

Химические процессы и нефтехимия

Электрометаллургия

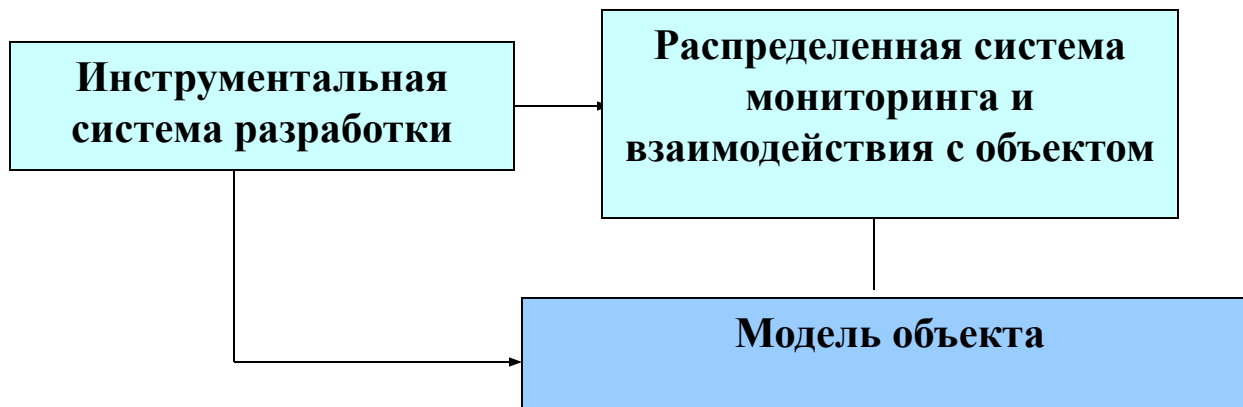
Производство красителей

Выращивание кристаллов кварца

Особым результатом было то, что сформировался коллектив, способный осуществлять решения сложных практических задач в соответствии с требованиями реальных заказчиков. Эти специалисты составляют ядро нашего значительно возросшего коллектива и сегодня.

Тренажеры

Около 10 лет возникли новые задачи – разработки тренажерных систем подготовки операторов управления сложными техническими объектами в нормальных и аварийных условиях. Как показал анализ, тренажерная система очень близка по структуре к системе управления. В основе тренажерной среды находится распределенная система мониторинга объекта, которая также обеспечивает и возможность выдачи сигналов управления, но не на объект, а на его модель.



Опыт показывает что разработка и реализация модели объекта и составляет наиболее сложную часть работ при создании тренажерных систем сложных объектов.

Объекты моделирования

Объектами моделирования стали морские суда. Современный корабль представляется совокупностью ряда взаимодействующих подсистем испытывающих возможное влияние аварийных факторов:



Задачи моделирования

- **Расчет состояния подсистем объекта и их элементов под воздействием факторов внутренней и внешней среды;**
- **Отработка управляющих воздействий, поступающих от руководителя и обучающихся;**
- **Имитация изменения пространственного перемещения объекта;**
- **Имитация развития заданных аварийных ситуаций на объекте;**
- **Запись необходимой информации для обеспечения возможности возвратов на прошлые моменты времени и просмотра реализованной во времени траектории по состоянию объекта.**

Масштаб моделируемых объектов

При такой постановке задачи множество параметров состояния объекта может достигать:

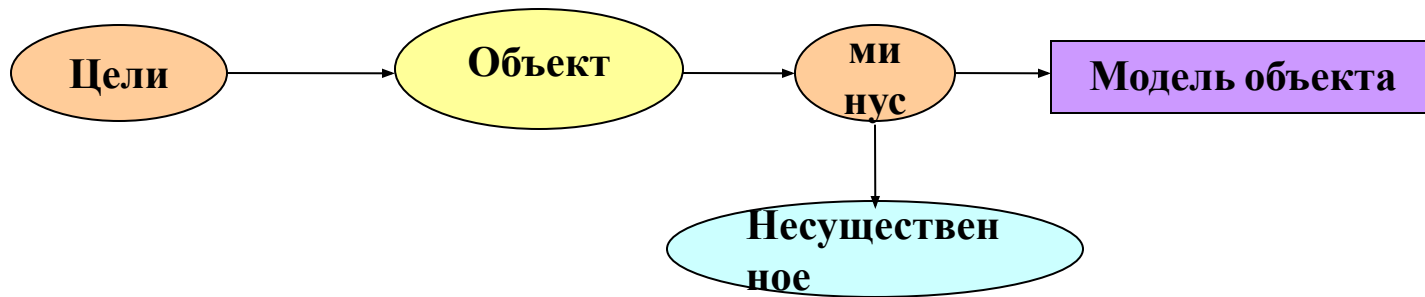
- **20-30 тыс. дискретных параметров;**
- **20-30 тыс. аналоговых параметров.**

При этом полное множество внутренних параметров модели объекта приближается к **100 тыс.**

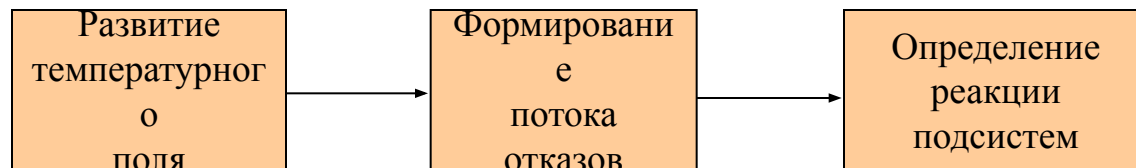
Реализуемая системой продолжительность цикла моделирования находится в пределах **40-50** миллисекунд на компьютере с тактовой частотой 2.8 Гц.

Учет целей

Большая размерность объекта осложняет задачу. Однако, в зависимости от целей моделирования могут быть сформулированы разумные допущения и ограничения исключающие из рассмотрения несущественные в данном исследовании свойства объекта.



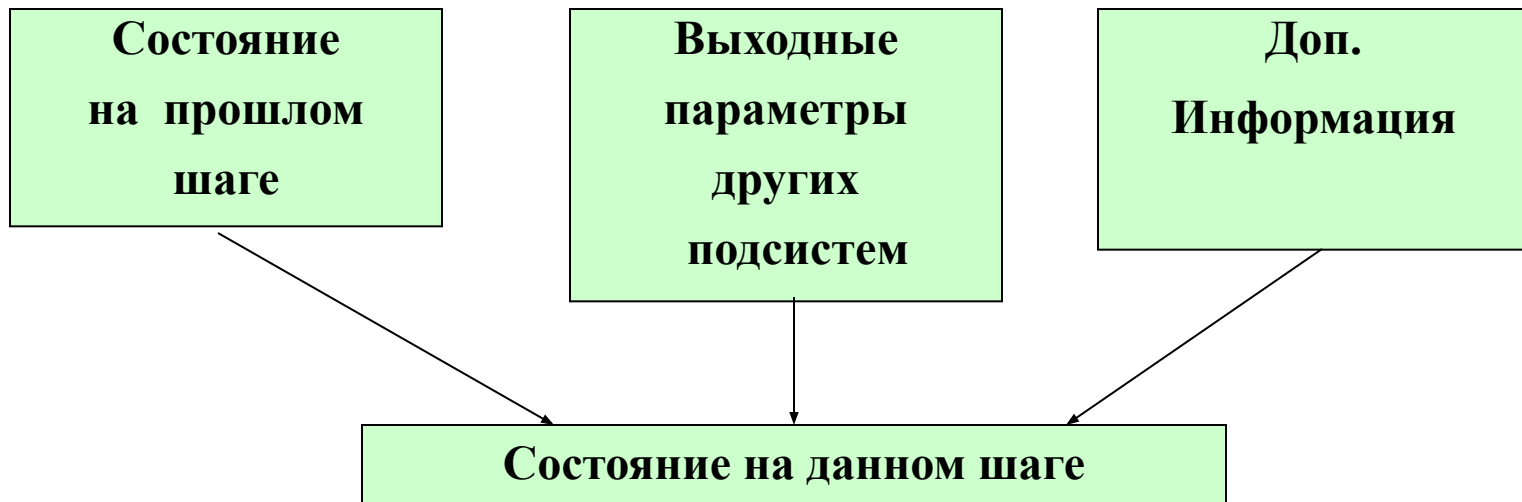
Например, цель имитации развития пожара – обучение экипажа принятию решений обеспечивающих минимизацию ущербов от воздействия аварийных факторов и их последствий. Задача системы моделирования отображается следующей схемой:



Таким образом, в данном случае необходимость имитации собственно процесса горения не превалирует.

Комплексность модели

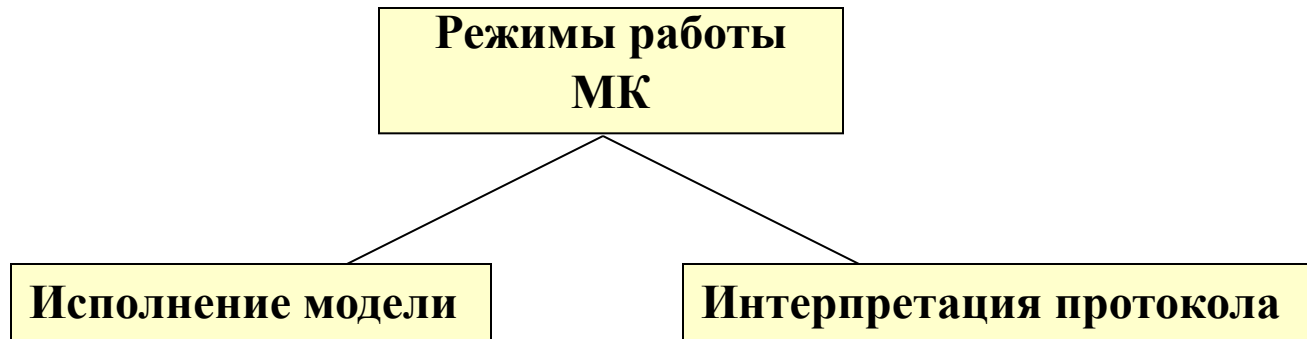
Модель сложного объекта создается на основе моделей его подсистем и ряда вспомогательных моделей, обеспечивающих расчет существенных изменяющихся во времени свойств элементов подсистем. Соответствующая организация данных моделирующего комплекса обеспечивает возможность построения взаимодействия моделей. Состояние подсистем в очередной момент времени рассчитывается с учетом не просто их прошлого состояния, но и дополнительной информации, например, о поступивших командах управления, изменениях в электропитании, исправности элементов. В результате формируется комплексная модель объекта обеспечивающая имитацию его изменяющегося во времени состояния как единой системы.



Условия производства вычислений

Как и при управлении технологическими процессами моделирующий комплекс (МК) тренажерной системы помимо решения основной задачи - вычисления состояния объекта во времени (ускоренном или замедленном) должен обеспечивать параллельное выполнение ряда других задач:

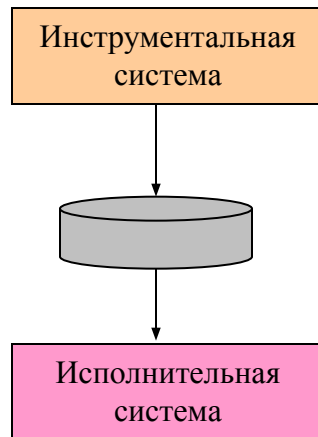
- протоколирование полного состояния моделирующей системы;
- протоколирование управляющих воздействий операторов;
- протоколирование состояния интерфейсов рабочих мест;
- организация сетевого обмена с системой мониторинга и управления.



Эти режимы не имеют строгих границ, так в режиме исполнения модели может быть выполнен переход на прошедший момент времени и продолжено моделирование с этого момента с другой последовательностью управляющих сигналов. Наоборот, при анализе архивной записи можно перейти к моделированию в любой момент времени.

Технология моделирования и разработки комплекса

Реализация моделей сложных объектов «вручную» т.е. прямым программированием нерациональна. Причиной тому большая размерность, большая связность подсистем объекта, ограниченные сроки разработки. С другой стороны, сложные объекты могут иметь подсистемы, функционирующие на основе близких физико-химических процессов (например, переноса вещества и энергии). Это дает возможность автоматизировать разработку моделей объектов функционирующих на основе подобных процессов. Инструментальная моделирующая система порождает набор данных, содержащий информацию о структуре модели и свойствах отдельных ее элементов. Исполнительная система, работающая в составе вычислительного комплекса, принимает эти данные и обеспечивает расчет состояния объекта во времени.

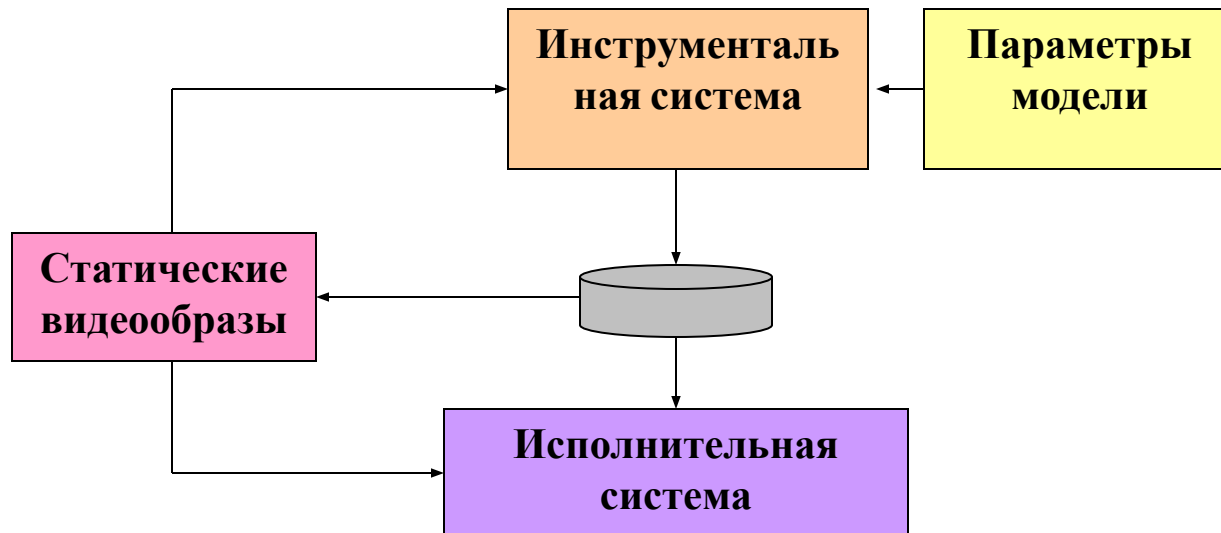


Интерфейс инструментальной системы обеспечивает возможность разработки моделей определенного класса на основе определения топологии взаимосвязей и характеристик элементов подсистемы без какого-либо программирования.

В классе рассматриваемых объектов нами разработаны и используются системы автоматизации моделирования:

- **Процессов массо-теплопереноса (для моделирования обеспечивающих подсистем) и среды в помещениях;**
- **Процессов производства, распределения и потребления электроэнергии;**
- **Движения объектов заданного класса;**
- **Состояния среды в помещениях объекта;**
- **Состояния элементов оборудования.**

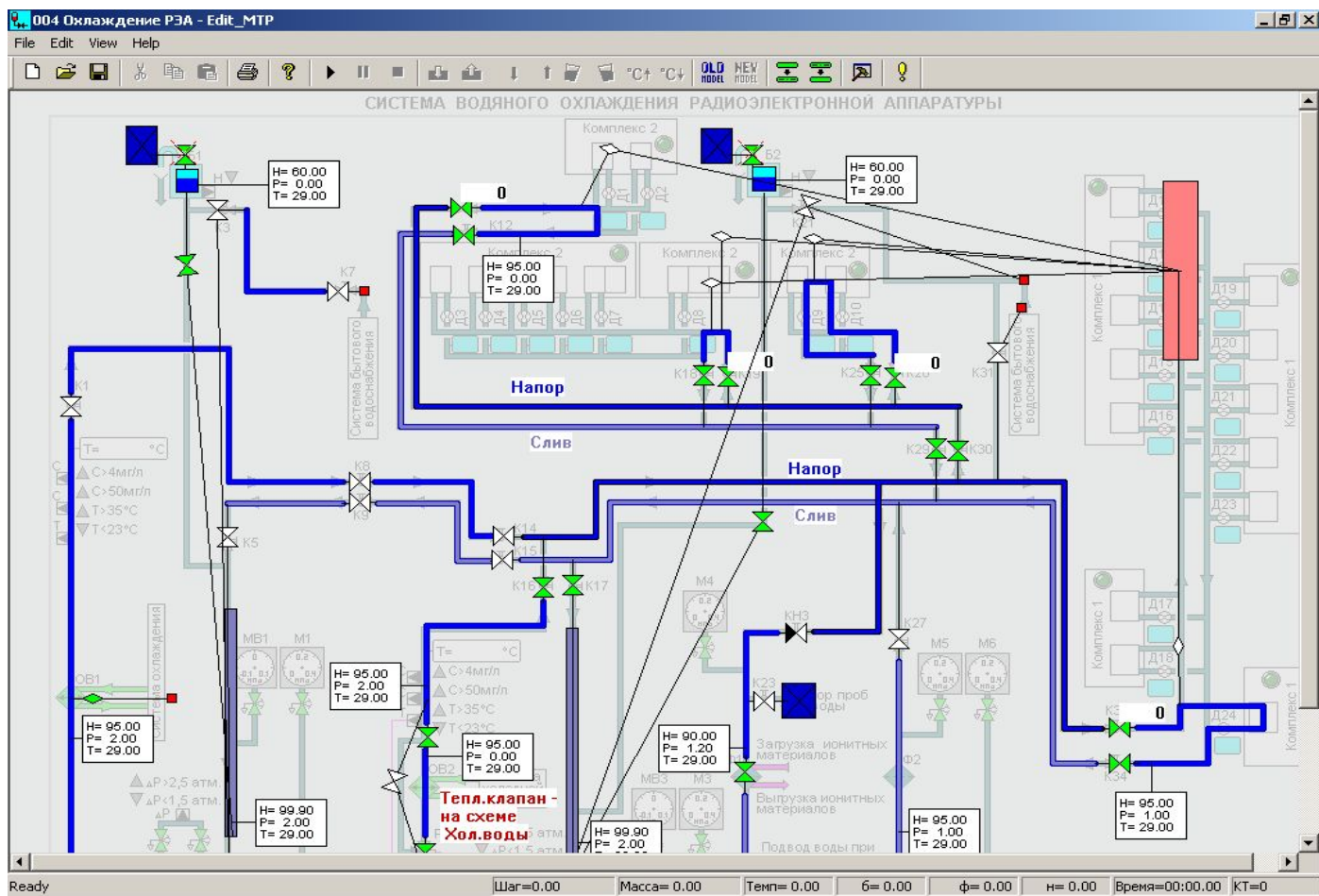
Опыт разработки систем мониторинга технологических процессов подсказывал возможность использования технологий параметрической специализации систем мониторинга также на основе использования инструментальных систем. В результате разработка систем мониторинга выполняется по похожей схеме:



Развитие инструментальных средств идет постоянно. В настоящее время осуществляется поиск путей реализации качественного скачка в направлении повышения степени визуализации (в т.ч. и трехмерной) определяемых характеристик и свойств, автоматизации построения межмодельного взаимодействия и реализации связности моделей, автоматизации тестирования и отладки.

Использование инструментальных систем позволяет также снизить требования к квалификации разработчиков осуществляющих моделирование подсистем объекта и создание систем мониторинга.

Пример моделирования системы трубопроводов.



Типичный состав программного обеспечения тренажерного комплекса

В состав программного обеспечения типичной тренажерной системы на базе модели объекта в общем случае входят:

- Программные среды мониторинга (обучающихся, руководителя, системы отображения информации коллективного пользования);
- Моделирующий комплекс;
- Прочие среды реализации режимов работы (например, автоматизированная система обучения, система психо-физиологического тестирования, система контроля);
- ПО подготовки занятий;
- База данных и интерфейсы взаимодействия с ней;
- Конфигураторы режимов работы, утилиты, тесты;
- Подсистема диспетчирования комплекса.



Функции подсистем ПО.

Среды обеспечения режимов использования предназначены для реализации заданных режимов работы (тренировка, теоретическое обучение, контроль и т.п.). Одним из режимов является подготовка учебных материалов для проведения занятий. Приложения реализующие эту подготовку также относятся к данному классу.

Интерфейсы баз данных обеспечивают:

- занесения информации по пользователям в базу данных системы;
- формирования и корректировки программ обучения;
- просмотра и анализа результатов занятий.

Конфигураторы необходимы для формирования рабочих мест требуемого назначения на станциях компьютерной сети. Одновременно может быть создано несколько независимых рабочих групп каждая из которых реализует свой режим работы в системе, т.е. получается несколько виртуальных тренажеров, но с меньшим числом рабочих мест, чем в полной конфигурации.

Подсистема диспетчирования комплекса обеспечивает:

- отслеживание состояния сетевых станций;
- идентификацию пользователей по базе данных;
- модификацию функциональных возможностей интерфейса базового уровня в зависимости от типа пользователя;
- диспетчирование приложений пользовательского уровня.

Обобщаемые результаты

Представляемые решения специализированы для определенного класса объектов, вместе с тем целый ряд полученных результатов обладает достаточной общностью, что обеспечивает возможность их использования в более широкой области непосредственно или после соответствующей подстройки. К числу этих результатов относятся:

- Научные

- подход к реализации комплексного моделирования сложных объектов в реальном времени, характеризующихся большой размерностью пространства параметров состояния при сильной связностью подсистем.
- методология моделирования технологических сетей передачи вещества и энергии.

- Технологические и архитектурные

- целесообразность использования инструментальной и исполнительной подсистем при моделировании объектов (гибкость настройки, возможность простого внесения корректировок, повышение уровня надежности программной реализации, сокращение сроков разработки моделей, снижение требования к квалификации специалистов);
- решения по реализации моделирующего комплекса; (выделение моделирующего ядра и минимизация его связности с подсистемами окружения что дает возможность выполнять замену ядра при минимальных доработках систем окружения);
- решения по построению систем мониторинга и управления;
- построение систем отображения информации на базе проекторов получающих видеосигнал от компьютера.

- Программные

- математические библиотеки программ (численного решения систем дифференциальных, линейных и нелинейных уравнений и др.);
- классы реализации интерфейсных решений;
- классы реализации моделей;
- программные решения по построению систем архивирования параметров в реальном времени;
 - программные решения по обеспечению воспроизведения архивной записи с восстановлением состояний интерфейсов рабочих мест и звуковой обстановки;
 - программные решения и технологии реализации 3-х мерной параметрически управляемой визуализации моделируемых объектов;
 - программные решения по реализации сетевого обмена станций с минимизацией потоков данных;
 - оптимальная организация структур данных, алгоритмов, методов решения – все то что составляет накопленный опыт;

Адаптация к решению новых задач

Изложенные выше общие результаты достаточно универсальны и могут быть использованы при решении проблемных вопросов в различных областях непосредственно или при соответствующей модификации:

Можно выделить несколько категорий направлений адаптации:

- **Адаптация в родственных направлениях;**
- **Адаптация с возможностью использования решений по реализации подсистем;**
- **Адаптация с возможностью использования опыта;**

1. Адаптация в родственных направлениях.

Разработка систем моделирования в других областях и по другим типам объектов. Цели могут быть разными:

- **подготовка операторов управления реальными объектами;**
- **исследование поведения объектов;**
- **системы обучения и подготовки персонала управления объектами.**

Специфика предметной области при разработке программных решений будет проявляться:

- **в специфических требованиях по назначению продукта;**
- **в терминалогической специфике предметной области;**
- **в специфике используемого математического аппарата предметной области;**

В соответствии с этим может возникать потребность адаптации или разработки на основе имеющегося опыта:

- **интерфейсов пользователя (словарь терминов, язык, интерфейс визуального проектирования моделей объекта);**
- **методов и алгоритмов реализации моделей объектов;**
- **функционального набора систем мониторинга и моделирующего комплекса (в соответствии с целями разработки и требованиями к системе).**

Адаптация в родственных направлениях сосредоточена в основном на реализации собственно моделирующего ядра и инструментальных систем.

2. Адаптация с возможностью использования решений по реализации подсистем

Разработка программных продуктов содержащих подсистемы аналогичные имеющимся:

- **системы оценки состояния (мониторинга) промышленных и непромышленных объектов;**
- **системы управления технологическими процессами;**
- **системы оценки проектных решений;**
- **системы автоматизации научных исследований.**

Если возможна декомпозиция системы с выделением программных подсистем функционально-подобных, тем по которым имеются прототипы, то это позволит существенно сократить сроки разработки данных компонент, а также проектирование механизмов их взаимодействия с подсистемами окружения.

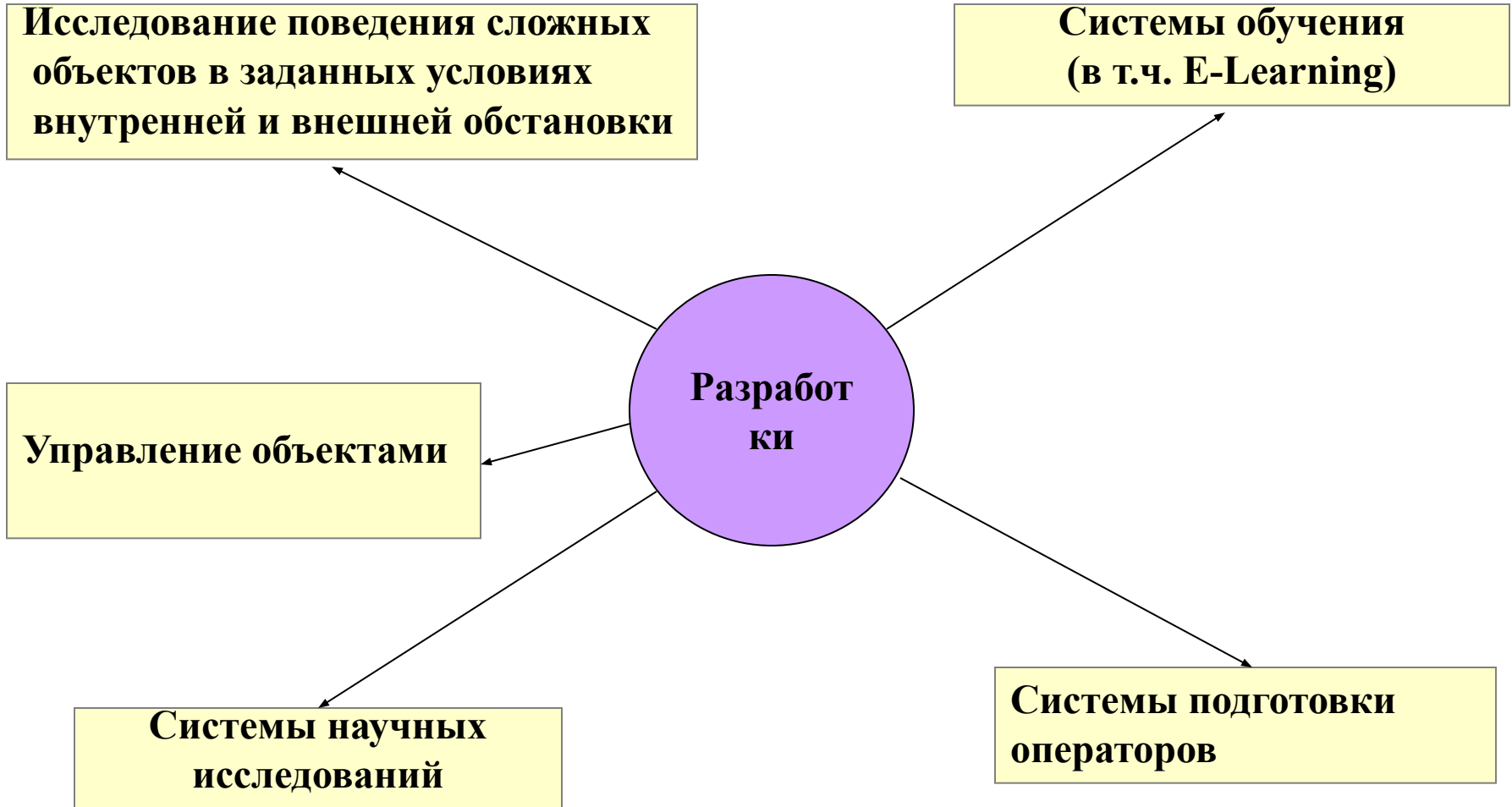
3. Адаптация с возможностью использования опыта

В различных программных системах можно найти общие свойства:

- **Архитектура построения,**
- **Реализация интерфейсов,**
- **Реализация межпрограммного и межмашинного обмена,**
- **Производство вычислений,**
- **Численная реализация математических методов,**
- **3-х мерная визуализация и т. д.**

Опыт накопленный при реализации программных систем в течении многих лет также может быть полезен в новых разработках.

Видимые области разработок



Типичные цели моделирования объектов

- **Исследование поведения объектов в изменяющихся условиях внутренней и внешней обстановки;**
- **Определение оптимальных режимов эксплуатации (промышленных) объектов;**
- **Выбор (оптимизация) проектных решений при создании новых объектов;**
- **Оценивание последствий принимаемых решений;**
- **Минимизация ущербов (потерь) при эксплуатации объектов в сложных (аварийных) условиях;**
- **Обучение специалистов.**

Формулировка целей очень важна т.к. это во многом определяет выработку разумных допущений и ограничений при разработке модели объекта, а зачастую и сам вид математического описания объекта.

Возможные объекты:

- **технические объекты;**
- **непрерывные технологические процессы и производства;**
- **экологические системы;**
- **биологические системы;**
- **другие.**

Возможные технологические решения:

- **Автономные моделирующие системы;**
- **Локальные моделирующие системы;**
- **Использование Веб-технологий при организации взаимодействия систем мониторинга с сервером моделирования (моделирующим комплексом);**
- **Системы распределенного моделирования.**

Порядок разработки

- Анализ потребности и перспективности (целесообразности) новой разработки;
- Предварительная оценка трудоемкости разработки;
- Определение источников финансирования разработки;
- Выработка требований к продукту формулировка целей разработки;
- Привлечение специалистов в предметной области к постановке задачи и разработке математического описания объектов данной предметной области;
- Определение класса моделей составляющих математическое описание объекта, выработка допущений и ограничений;
- Возможное проведение экспериментальных исследований на объекте для решения задач идентификации объекта, параметрической настройки моделей, оценки степени адекватности моделей;
- Разработка инструментальных систем (при необходимости);
- Разработка (доработка, переработка) систем мониторинга моделируемого объекта;
- Разработка моделирующего блока;
- Разработка необходимых баз данных;
- Экспертная оценка полученных результатов;
- Продвижение программного продукта на рынке.