

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ХОРОШО СТРУКТУРИРОВАННЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Ю. И. Бродский, В. Ю. Лебедев

В статье описаны принципы построения и функционирования набора инструментальных программ, предлагаемого в качестве базового средства для разработки комплексов имитации сложных динамических систем. Основное внимание уделено подробному разбору принятой концепции моделирования.

ВВЕДЕНИЕ

Формально предлагаемая система есть набор процедур на алгоритмическом языке МОДУЛА-2 [1], с помощью которых можно увязывать в единое целое и организовывать квазипараллельное исполнение программных единиц этого языка, реализующих алгоритмы функционирования отдельных составляющих имитируемых комплексов. Концепция моделирования, положенная в основу системы, во многом близка той, на которой базируется хорошо известный язык имитации СИМУЛА-67 [2]. В данной связи о системе можно говорить как об инструментальной реализации проблемно-ориентированных средств СИМУЛЫ, причем следует подчеркнуть, что по сравнению с СИМУЛОЙ система предоставляет более проработанный аппарат имитации внутрикомплексных взаимодействий. Основные понятия предлагаемой концепции моделирования были кратко рассмотрены в предыдущей статье сборника. Настоящая статья посвящена подробному разбору и их самих и технологии программирования, в рамках которой они находят воплощение при разработке имитирующих программ на языке МОДУЛА-2.

§ 1. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ ИМИТИРУЕМОГО КОМПЛЕКСА И КОНЦЕПЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЕГО ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Как указано в названии статьи, рассматриваемая система предлагается для имитации функционирования хорошо структурированных комплексов. Под хорошей структурированностью мы понимаем возможность естественного вычленения в комплексе большого числа относительно обособленных первичных составляющих, функционирование которых во взаимодействии друг с другом и формирует подлежащую имитации деятельность комплекса. Модельные образы этих составляющих будем называть ОБЪЕКТАМИ. Следовательно, основное положение пред-

лагаемой концепции моделирования звучит так: модельный комплекс есть совокупность объектов.

Первичные составляющие реальных комплексов часто komponуются (организационно или конструктивно) в подкомплексы, те, в свою очередь, — в подкомплексы более высокого уровня и т. д. Для модельного отражения иерархий подобного рода в систему введено понятие ГРУППА. Это — объединение какого-то числа объектов и нескольких образований, которые сами являются группами. Теперь, чтобы завершить описание предусмотренных в системе возможностей представления совокупности модельных объектов как множества, обладающего макроструктурой, осталось добавить, что данная совокупность считается группой. Следовательно, уточняя сформулированный выше взгляд на имитируемый комплекс, можно сказать, что он видится совокупностью объектов, группируемых по схеме древовидной иерархии.

Наряду с рассмотренной иерархией групп система допускает задание в пределах каждой группы так называемой иерархии принадлежностей. Это — одно из набора средств системы, используемых для моделирования изменений в состав имитируемого комплекса, возможных во время его функционирования. Хотя формально система не позволяет менять совокупность модельных объектов по ходу имитации, фактически такие возможности существуют и они обеспечиваются делением объектов и групп на активные и пассивные, а также на существующие и уничтоженные. Предметом имитации всегда служат только “действующие”, т. е. — существующие и активные, объекты и группы.

С течением модельного времени состав действующих объектов и групп может изменяться: допускается и активизация пассивных и уничтожение существующих. Под уничтожением в данном случае понимается замораживание до конца имитации всех относящихся к объекту (группе) данных и прекращение всякой вычислительной деятельности, составляющей его (ее) модельную жизнь. Активация же означает запуск такой деятельности для объекта (группы), до того лишь зарегистрированного, но никак себя не проявившего (т. е. — существовавшего, но пассивного). Список пассивных объектов и групп на момент начала имитации фиксируется упомянутой выше исходной иерархией принадлежностей. Последнее означает, что в пределах каждой группы одни из объектов и групп могут быть объявлены принадлежащими другим объектам (но не группам) и именно они подлежат будущей активизации (которая может и не состояться). В момент активизации принадлежность отменяется. Право активизировать пассивный объект или группу дается только объекту-хозяину и последний может реализовать это право только будучи активным. Соответственно, в исходном графе принадлежностей не должно быть контуров — ина-

че соответствующие объекты и группы будут обречены на бездействие; точнее говоря, требуется, чтобы этот граф был деревом. Для уничтожения никаких правил такого сорта не вводится: каждый действующий объект может уничтожить любого включая самого себя.

Как уже было сказано в начале раздела, подлежащую имитации деятельность комплекса предлагается трактовать как результат слияния деятельности образующих комплекс объектов. Можно говорить и о функционировании группы, но под этим опять-таки будем понимать суммарную деятельность объектов, формирующих группу и не более того. Следовательно, для определения подхода к имитации деятельности комплекса остается указать подход к имитации функционирования объектов. В рассматриваемой системе основой этого подхода является трактовка деятельности объекта как совокупности нескольких параллельно протекающих процессов. Каждому процессу назначается свой “материальный носитель”, именуемый ПРИБОРОМ. Формально прибор считается неделимой частью объекта, ведущей конкретный процесс его деятельности. Таким образом, можно говорить, что объекты делятся на приборы, памятуя, однако, что реального прототипа прибора (вроде какого-либо технического устройства) может и не существовать.

§ 2. СТРУКТУРА ДАННЫХ МОДЕЛИ И ИНФОРМАЦИОННОЕ СОПРЯЖЕНИЕ ГРУПП, ОБЪЕКТОВ И ПРИБОРОВ

Процедура построения модели организационно-технического комплекса с использованием рассматриваемой системы имеет характер процесса сборки сложного агрегата из готовых узлов. В роли таких узлов выступают модели отдельных объектов, приборов и групп. С каждой будут связаны какие-то наборы данных и в совокупности этих наборов, организованной самим способом компоновки приборов в объекты, а объектов — в группы и т. д., предлагается видеть весь информационный фонд результирующей модели. Таким образом, основой структуризации ее данных является разделение по принадлежности приборам, объектам и группам.

В жизни среди объектов и групп, образующих реальные комплексы, часто бывает по несколько одинаковых и нередко в деятельности разных объектов выделяются одинаковые процессы (т. е., в наших терминах, — у разных объектов бывают одинаковые приборы). При этом одинаковость, разумеется, означает лишь принадлежность к одному классу, т. е. не требует совпадения во всем. Область допустимых различий — значения неких величин, являющихся атрибутами каждого экземпляра класса. В предлагаемой системе также используется деление объектов, приборов и групп на классы, а величины,

значениями которых могут различаться экземпляры одного класса, в соответствии с общепринятой терминологией мы будем называть **ФАЗОВЫМИ ПЕРЕМЕННЫМИ** (хотя среди них могут быть и не меняющиеся со временем). Это определение подразумевает, что если кроме фазовых переменных) есть еще какие-то данные по экземплярам класса, то их значения должны быть одинаковыми для всех экземпляров. Такие данные естественно называть **КОНСТАНТАМИ**.

Итак, макроструктура данных модели описана: они поделены на фазовые переменные и константы, причем первые закрепляются за экземплярами приборов, объектов и групп, а вторые — за классами первых, вторых и третьих. К микроструктуре констант, т. е. — к способу организации их набора для отдельного класса составляющих модельного комплекса, никаких специфических требований не предъявляется. В отношении фазовых переменных такие требования есть.

Начнем с правил организации набора фазовых переменных объекта или группы. По признаку постоянства состава на протяжении всего периода имитации фазовые переменные объекта

(или группы) делятся на статические, состав которых заморожен, и динамические, состав которых с течением модельного времени может меняться. Первые должны быть объединены в одну, в дальнейшем именуемую базовой, запись языка МОДУЛА-2, чем требования к ним и исчерпаны. Что же касается динамических переменных объекта (или группы), то для их представления в системе предусмотрены средства работы со списками варьируемой длины. Точнее сказать, если для модельного объекта (или группы) нужны динамические фазовые переменные, их надо представить одним или несколькими списками, каждый из которых будет образовываться записями

(в понимании МОДУЛЫ-2) одной (для каждого списка своей) структуры. При этом в базовой записи статистических переменных объекта (или группы) выделяются поля, имеющие смысл “ключей” к таким спискам. Еще раз подчеркнем, что система дает средства, позволяющие наращивать и сокращать эти списки по ходу имитации, что и оправдывает эпитет “динамическое” применительно к их содержанию.

Перейдем теперь к микроструктуре фазовых переменных приборов (процессов). Эти переменные тоже делятся на статические и динамические и статистические переменные прибора должны быть сведены в базовую запись. Что же касается динамических, то они для прибора делятся на две категории. Первая — это списки, аналогичные разобранным выше применительно к объектам и группам. Вторая категория динамических переменных характерна только для приборов и связана с поддерживаемым системой механизмом СИГНАЛОВ и СООБЩЕНИЙ.

Фактически механизм сигналов и сообщений есть средство явного обмена информацией между приборами. При таком обмене приборы во время своего функционирования вырабатывают сигналы, предназначенные конкретным адресатам (другим приборам или самому себе в будущее) и сопровождающиеся сообщениями (возможно пустыми), а также принимают сигналы, посланные им, и читают сообщения, сопутствующие этим сигналам. Связь адресатов с отправителями обеспечивается постоянными “каналами”, фиксируемыми в моделях приборов, объектов и групп, причем эти каналы организуются так, что данный вход данного прибора-получателя всегда связан только с одним конкретным выходом конкретного прибора-отправителя и есть жесткое соответствие между каналами и типами передаваемых по ним сообщений.

По смыслу сигналы — это, как правило, управляющие импульсы, которые возникают в автоматической части системы управления исследуемого организационно-технического комплекса. Можно также сказать, что сигнал есть уведомление прибору (или приборам) о том, что в модельном комплексе что-то произошло, а сообщение, сопутствующее сигналу, есть пакет данных, посылаемых адресату (адресатам) в связи с этим происшествием. Формально же пара (сигнал, сообщение) как продукт деятельности прибора-отправителя должна быть отнесена к его фазовым переменным, причем — к динамическим, поскольку эти пары то рождаются приборами, то уничтожаются (в соответствии с регламентом, который будет рассмотрен в следующем разделе) системой. Сигнал естественно трактовать как булеву величину, а сообщение, если оно не пустое, может быть только списком из одинаковых по структуре записей (в смысле МОДУЛЫ-2). При этом данный сигнал либо всегда посылается с пустым сообщением, либо всегда сопровождается непустым списком записей одинаковой и жестко связанной с ним структуры.

Теперь полностью описана поддерживаемая системой структура данных и осталось лишь указать принимаемые соглашения

о возможностях доступа к ним из программ, реализующих алгоритмы процессов. По парам (сигнал, сообщение) все уже сказано — они доступны в программах соответствующих прибор-адресатов (режим существования их в модельном времени описан в следующем разделе). Прочие фазовые переменные приборов считаются локальными, т. е. доступ к значениям таких переменных, относящихся к конкретному прибору, система предоставляет только программам, моделирующим данный прибор. Фазовые же переменные объектов и групп образуют общую область данных модели: с помощью средств системы значения любых из них можно получить и изменить в любой программе любого прибора. Таким образом, наряду с возможностью явного обмена информацией между приборами, реализуемого че-

рез механизм сигналов и сообщений, существует возможность неявного — через общую область данных: имеется в виду возможность задать значения каких-то фазовых переменных объекта или группы программой одного прибора с тем, чтобы они были прочитаны программой другого.

§ 3. ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА ПРОЦЕССОВ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИХ КВАЗИПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

Как уже было сказано выше, функционирование комплекса, моделируемого с помощью предлагаемой системы, видится результатом объединения деятельности составляющих комплекс объектов, а деятельность объекта представляется несколькими параллельно текущими процессами. Расщепление деятельности объекта на параллельные процессы — это ее декомпозиция по функциональному признаку, полезная в связи с характерной для реальных прототипов объектов возможностью выделения в жизни каждого нескольких относительно обособленных аспектов. Наряду с ней вводится и декомпозиция процессов, но это — декомпозиция во времени и она полезна прежде всего для формализации правил взаимодействия процессов друг с другом.

Итак, предлагается выделить в истории течения процессов последовательные стадии, впредь именуемые ЭЛЕМЕНТАМИ. Естественная содержательная трактовка элемента — способ поведения объекта в определенных условиях. Помня о взаимнооднозначном соответствии процесс-прибор, далее будем говорить, что функционирование прибора есть последовательное выполнение им присущих ему элементов. Число допускаемых различных элементов, вообще говоря, свое для каждого прибора, но считается, что оно всегда конечно. Чередувание же во времени элементов одного прибора может быть бесконечным (если бесконечно время имитации) и организуется оно по правилам, отражающим действие автоматической части системы управления исследуемого организационно-технического комплекса (см. ниже).

По отношению к модельному времени все элементы всех приборов делятся на три категории: сосредоточенные, условно-распределенные и распределенные. Сосредоточенные элементы характерны тем, что в модельном времени они всегда выполняются мгновенно. Выполнение же любого из прочих элементов обычно имеет ненулевую продолжительность и, как правило, распределяется между несколькими последовательными тактами имитации, что и отражено в названии соответствующих категорий.

Различие между условно-распределенными и распределенными элементами кроется в режимах появления их результатов во времени. Под результатами, разумеется, надо понимать но-

вые значения каких-то фазовых переменных, и если говорить об условно-распределенном элементе, то они определяются только в момент его окончания и нет никаких генерируемых этим элементом данных, которые появлялись бы на промежуточных тактах его выполнения и могли бы тут же использоваться другими элементами. Что же касается распределенного элемента, то он выдает некие результаты на каждом (а не только на завершающем) такте его выполнения. Содержательно распределенные элементы — это обычно отрезки процессов, описываемые эволюционными дифференциальными уравнениями. Типичный пример условно-распределенного элемента — модель процесса решения вычислительной задачи.

С формальной точки зрения каждый сосредоточенный элемент — это один алгоритм, а условно-распределенный или распределенный — пара алгоритмов. В этой паре первый алгоритм естественно назвать планировщиком завершения, а второй — основным алгоритмом. Схема выполнения распределенного элемента в модельном времени такова: на каждом из тактов, составляющих отрезок выполнения элемента, сначала включается планировщик завершения, который по “текущей обстановке” определяет желаемый момент окончания элемента, а затем вызывается основной алгоритм. Для условно-распределенного элемента планировщик также вызывается всякий раз, но основной алгоритм выполнится лишь единожды, когда момент окончания очередного такта имитации совпадает с указанным планировщиком времени завершения элемента (способ выбора момента окончания такта описан ниже).

Теперь можно описать предлагаемый принцип организации квазипараллельного воспроизведения процессов. Делается это следующим образом. Пусть пришел момент начала очередного такта имитации. Этот момент будет точкой завершения каких-то условно-распределенных и распределенных элементов (почему так, станет ясно чуть ниже) и здесь надо:

а) составить список приборов, завершивших в данный момент выполнение своих элементов;

б) для каждого из выделенных в п. а) приборов в соответствии с правилами его функционирования (см. ниже) определить, к какому элементу ему следовало бы перейти в текущей ситуации;

в) из названных в п. б) элементов выделить сосредоточенные и, если они найдутся, то выполнять их (вызвать поочередно их алгоритмы) и вернуться к пункту б), а иначе перейти к п. г.);

г) для распределенных и условно-распределенных элементов, вновь названных в п. б), а также тех, что были начаты ранее и должны продолжать выполняться на текущем такте имитации, вызвать планировщики завершения и минимальное из

выданных ими времен зафиксировать в качестве момента окончания очередного такта имитации;

д) выполнить поочередно основные алгоритмы всех указанных в п. г) распределенных элементов, а также тех из условно-распределенных, чье запланированное время завершения совпадает с установленным временем окончания текста;

е) перевести системные часы и тем самым перейти в момент начала следующего такта имитации.

Для того, чтобы сформулированная схема организации выполнения элементов стала рабочим алгоритмом, осталось уточнить, что подразумевается в п. б) под правилами функционирования приборов. Этому и будет посвящен остаток данного раздела.

В системе реализован подход, согласно которому прибор формулирует свою последовательность элементов как конечный автомат, имеющий входами номера предыдущего элемента и полученные сигналы, а выходом — номер следующего элемента. Точнее сказать, когда прибор завершил выполнение очередного элемента, выбор следующего элемента определяется тем, какой именно элемент завершился и какие из совокупности всех входных сигналов прибора пришли в момент принятия решения. Данное положение формализуется введением автоматных функций приборов. Аргументов у каждой автоматной функции два: это—номер завершенного элемента и еще одно целое число, которое будем называть “номером старшего реализовавшегося события”. Второй аргумент требует разъяснения. Суть в том, что для каждого прибора естественно разбить всевозможные комбинации значений булевых величин (есть сигнал, нет сигнала) на классы и считать, что при выборе очередного элемента роль играет не то — какая именно комбинация реализовалась, а то — каким классам она принадлежит. Точное же определение второго аргумента автоматной функции состоит в следующем:

а) для каждого элемента определяется свой, подчиняющийся некоторым требованиям полноты (см. ниже), набор алгебрологических функций от булевых индикаторов наличия входных сигналов;

б) эти функции именуемые впредь СОБЫТИЯМИ, ранжируются (нумеруются) достаточно произвольным, хотя и стесненным неким ограничением (см. ниже) способом;

в) значением второго аргумента автоматной функции служит номер старшего среди тех, что приняли значение “истина”, событий из набора, который соответствует первому аргументу.

Итак, выбор очередного элемента осуществляется в системе по правилу:

а) по пришедшим на момент принятия решения сигналам

определяются значения событий из списка, отвечающего завершенному элементу;

б) циклическим просмотром в порядке убывания ранга (увеличения номера) определяется номер старшего реализованного события;

в) номера завершенного элемента и старшего реализованного события подставляются в автоматную функцию прибора и она дает номер следующего элемента.

Теперь для полного прояснения правил организации вычислений в системе осталось уточнить режим существования сигналов (и связанных с ними сообщений) в модельном времени. Появляются они как продукты деятельности приборов при выполнении ими своих элементов, а аннулируются системой автоматически, с чем и связаны определенные усложнения.

Предлагаемый режим прохождения сигналов выбран в соответствии с данной выше схемой организации выполнения элементов. Легко видеть, что при воплощении этой схемы элементы выполняются “волнами”: на каждом такте модельного времени сначала формируется и выполняется первая волна (некая совокупность) сосредоточенных элементов, затем вторая, третья и т. д., после чего, когда автоматные функции перестанут продуцировать сосредоточенные элементы, формируется одна волна распределенных и условно-распределенных элементов и их выполнением такт завершается. К этим-то волнам и привязывается жизнь сигналов, причем из-за режимных особенностей сосредоточенных волн (они отделены от прочих, их может быть несколько на одном такте времени и заранее нельзя сказать сколько их будет, они всегда идут первыми) приходится делить сигналы на быстрые и медленные. Правила существования их различны:

а) быстрые сигналы, рожденные в некоей волне, живут (т. е. могут быть приняты) только от момента окончания этой волны до момента окончания следующей волны;

б) медленные сигналы, рожденные в некоей волне, живут только от момента начала следующей волны распределенных и условно-распределенных элементов и до момента ее окончания.

Тем самым полностью уточнен регламент “доставки” сигналов и теперь четко определено какие сигналы могут влиять на выбор следующего элемента для прибора, только что завершенного свой очередной элемент: это—быстрые сигналы, рожденные в предыдущей сосредоточенной волне, и медленные сигналы, рожденные в предыдущих сосредоточенных волнах данного такта или в последней (несосредоточенной) волне предыдущего такта.

В заключение раздела осталось указать на ограничения в формировании и ранжировке событий, связанные с изложенной

схемой доставки сигналов и вытекающие из логики организации выполнения элементов. Их несколько:

а) поскольку режимы существования быстрых и медленных сигналов различны, нельзя смешивать те и другие в определении одного события;

б) поскольку медленные сигналы недоступны сосредоточенным элементам, нельзя включать их в события, которые должны приводить к переходам на такие элементы;

в) поскольку число сосредоточенных волн на одном такте непредсказуемо, в события, приводящие к распределенным или условнораспределенным элементам, нельзя включать быстрые сигналы;

г) поскольку выполнение распределенной волны всегда откладывается до прохождения всех сосредоточенных, события, приводящие к сосредоточенным элементам должны быть выше по рангу, чем прочие (иначе есть риск “потерять” какие-то сосредоточенные элементы);

д) поскольку на каждом такте каждый действующий прибор должен либо продолжить выполнение распределенного или условно-распределенного элемента либо в конце концов перейти к таковому (иначе модельное время остановится и произойдет заикливание на сосредоточенных элементах), наборы формируемых медленными сигналами событий должны быть полны для всех автоматных функций; точнее говоря, такой набор, соответствующий некому значению первого аргумента некой автоматной функции всегда должен содержать достаточно событий, чтобы хотя бы одно из них выполнялось при любой реализации медленных входных сигналов соответствующего прибора.

§ 4. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Описанный здесь способ программного воплощения имитационных моделей основан на изложенных выше представлениях и предполагает четкое разделение имитирующего программного комплекса на две составляющих: инструментальную (предметно-независимую) часть и модельную (предметно ориентированную) часть. Первая никак не связана с предметной областью моделирования и содержит универсальные средства (подпрограммы, которые более подробно рассмотрены ниже) используемые при написании модельной части. Ее фиксированное содержание совместно с правилами построения модельной части и есть та самая инструментальная система для реализации имитационных моделей, которая заявлена в заголовке данной статьи. При этом предлагаемая технология построения модельной части является прообразом будущего языка описания моделей хорошо структурированных организационно-технических комплексов, а инструментальная часть программного

обеспечения—прообразом транслятора и системы программирования этого языка.

Описание инструментальной системы начнем с правил организации программ модельной части.

При программной реализации изложенной в разделе 2 структуры имитируемого комплекса на языке МОДУЛЯ-2 “действующие лица” представляются библиотечными модулями. Трех разновидностям структурообразующих “действующих лиц”—группам, объектам и приборам—будут отвечать модули групп, модули объектов и модули приборов соответственно.

Как уже отмечалось в разделе 3, для реальных комплексов типично присутствие в составе групп, объектов и приборов неких подмножеств, состоящих из одинаковых экземпляров. Поэтому было введено понятие классов тех, других и третьих, объединяющих такие экземпляры. Именно классам ставятся во взаимно-однозначное соответствие модули перечисленных выше наименований. В пределах класса одинаково все, кроме значений характеристик состояния экземпляров, названных фазовыми переменными. Это общее, будучи оформлено в рамках представлений предыдущих разделов, и определяет содержание реализующего класс модуля. Для модуля прибора оно будет включать:

а) структуры всех собственных данных прибора и значения тех из них, которые не попадают в список его фазовых переменных (т. е. имеют смысл “эксплуатационных характеристик” и представляются константами);

б) структуры входных и выходных сигналов и сопутствующих им сообщений, а также схема коммутации внутренних сигналов прибора;

в) алгоритмы функционирования прибора (включая автоматные функции).

Содержание модуля объекта (представителя класса одинаковых объектов) определяется тем, что может быть общего у экземпляров “действующих лиц” этой категории, а оно включает:

а) состав приборов объекта;

б) состав объектов и групп, которые первоначально могут принадлежать данному;

в) структуры всех собственных данных объекта и значения тех из них, которые не относятся к фазовым переменным (а имеют смысл “эксплуатационных характеристик” объекта);

д) входные и выходные сигналы объекта и схема их коммутации внутренних сигналов объекта (сигналов между его приборами).

Аналогичный перечень для модуля группы таков:

а) состав входящих в группу объектов и групп;

б) структуры всех собственных данных группы и значения тех из них, которые не относятся к фазовым переменным;

в) входные и выходные сигналы группы и схема их коммутации с сигналами составляющих ее объектов и групп, а также способ коммутации внутренних сигналов группы (сигналов между ее группами и объектами).

Модули групп, объектов и приборов образуют ядро модельной части имитируемого комплекса. Кроме них, в модельную часть входят модуль типов, где определяются основные типы данных рассматриваемой модели, модуль поддержки вычислений, где собраны наиболее характерные и широко используемые в данной модели вычислительные процедуры, модули визуализации, которые определяют характер отображаемой в ходе имитационного эксперимента информации и форму ее отображения, и наконец, модуль-стартер, который из потенциальных возможностей проведения экспериментов, представляемых инструментальной частью, выбирает определенный набор, определяя ход конкретного имитационного эксперимента.

Выше сказано чем определяется содержимое модулей ядра модельной части имитирующего комплекса. Остановимся теперь подробнее на самом содержимом. Точнее говоря, рассмотрим программную структуру модулей групп, объектов и приборов. Начнем с модуля группы. В его части определений фиксируются:

а) набор (перечислимый тип имен) различных классов групп и объектов, экземпляры которых входят в рассматриваемую группу;

б) константы, определяющие численности этих экземпляров;

в) заголовки процедур доступа к фазовым переменным группы;

г) тип базовой записи фазовых переменных групп (см. раздел 2);

В часть реализации модуля группы включаются объявленные в части определений процедуры доступа к фазовым переменным (они легко строятся на основе специальной инструментальной процедуры), а также процедура коммутации сигналов между составляющими группу объектами и группами и коммутации входных и выходных сигналов группы с соответствующими сигналами образующих ее объектов и групп. В теле модуля содержится вызов инструментальной процедуры “включения” группы в комплекс.

Модуль объекта отличается от модуля группы тем, что составляющими объекта служат не группы и объекты, а приборы, а также тем, что помимо всего вышеперечисленного в него могут входить процедуры активизации объектов и групп, принадлежащих данному.

Модули групп и объектов имеют ярко выраженный информационный характер: их основное содержание—типы данных, сведения по составу имитируемой системы, процедуры доступа к информации по фазовым переменным и описание коммутации сигналов (в форме вызова инструментальных процедур коммутации с соответствующими значениями параметров). Два нижних уровня модельной части имитирующего комплекса образуют “операционные” модули, т. е. — модули, описывающие происходящие в системе процессы. В их числе—модуль поддержки вычислений и по существу основные модули комплекса — модули приборов.

Часть описаний модуля прибора пуста, а его часть реализации начинается с определения констант, фиксирующих:

а) численности входных и выходных (быстрых и медленных) сигналов прибора;

б) значения “эксплуатационных характеристик” приборов соответствующего класса (если таковые имеются).

Затем описывается базовая структура фазовых переменных прибора. Она должна быть (подобно базовой структуре фазовых переменных объекта; см. выше) представлена одной, возможно—пустой, записью. Наряду с ней (или для нее) возможны и описания в модуле прибора каких-то вспомогательных типов данных. Наконец, в нем обязательно описывается специальный перечислимый тип для определения автоматной функции.

Процедуры, определяемые в модуле прибора, распадаются на 3 категории. К первой относятся процедуры реализации элементов, выполняемых приборами соответствующего класса. Каждому сосредоточенному элементу должна отвечать одна процедура языка МОДУЛА-2, а условно-распределенному или распределенному—две (планировщик завершения и основной алгоритм; см. раздел 3). Все это—процедуры без параметров, в дальнейшем именуемые процедурами-элементами. За ними идут:

а) вспомогательные процедуры модуля прибора, нужные для поддержки его процедур-элементов;

б) процедуры инициализации (включая коммутацию внутренних сигналов прибора и установку начальных значений фазовых переменных по экземплярам);

Наконец—несколько слов об исполняемой части модуля прибора. Она состоит из:

а) вызова специальной процедуры “включения” прибора в систему;

б) серии вызовов процедур формирования автоматной функции;

в) серии вызовов процедур привязки входных и выходные сигналов к типам соответствующих сообщений.

Все перечисленные в пп. а), б), в) процедуры импортируются из инструментальной части системы.

Перейдем теперь к рассмотрению инструментальной части программной реализации имитационной модели. Она состоит из нескольких модулей, экспортирующих специальные процедуры, обеспечивающие возможности использовать в модулях приборов, объектов и групп описанные ранее конструкции и приемы моделирования. Эти процедуры делятся (по содержанию признаку) на следующие группы:

а) Процедуры организации имитационного эксперимента. Сюда входят процедура инициализации модели, процедура выполнения одного такта имитационного эксперимента, процедура привязки средств визуализации к системе, и, наконец, — процедуры сохранения-восстановления промежуточных стадий эксперимента в базе данных системы.

б) Процедуры доступа к информации по конкретным экземплярам групп, объектов и приборов. Сюда относятся процедуры чтения—записи фазовых переменных из базы данных системы. Эти процедуры существуют в двух вариантах: во-первых, работа с фазовыми переменными “своего” прибора, объекта или группы (своей считается первая содержащая данный прибор группа); во-вторых,—работа с фазовыми переменными любого “участника” по его адресу (то есть типу и номеру экземпляра). Для работы с динамическими структурами предоставляется широкий набор процедур работы со списками в различных классах памяти ЭВМ. Далее, имеется процедура, которая по адресу объекта или группы указывает им статус, то есть, отвечает на вопросы существует или уничтожен, самостоятелен или кому-то принадлежит данный “участник” эксперимента.

в) Процедуры активизации, уничтожения и установки начальной иерархии принадлежностей. Это—процедура активизации подчиненного объекта или группы, которая переводит указанный объект или группу в разряд самостоятельных и передает ему начальные значения его фазовых переменных, процедуры уничтожения приборов, объектов и групп (они существуют в двух вариантах: для “своего” и для любого по адресу) и процедура, с помощью которой можно указать, что данный объект имеет в качестве принадлежащих ему один или несколько экземпляров объектов или групп определенного типа.

г) Процедуры коммутации сигналов на уровне прибора, привязки к сигналам типов сопутствующих сообщений, послышки и приема (сигналов, сообщений). Одной из принципиальных составляющих модуля прибора является процедура ком-

мутации внутренних сигналов, т. е.—процедура, в которой выходные сигналы прибора, предназначенные самому себе, связываются с соответствующими входными сигналами. Связка одной пары осуществляется вызовом определенной процедуры, через параметры которой указывается, какие сигналы нужно соединять. Каждый входной и выходной сигнал прибора должен быть привязан к типу сопутствующего ему сообщения, для чего также имеется специальная процедура. Далее идут процедуры посылки и приема сигналов, которые могут сопровождаться сообщениями.

д) Процедуры построения автоматных функций. Структура автоматной функции класса приборов определяется в соответствующем модуле прибора с помощью перечисленного типа, фиксирующего имена элементов, и с использованием специальных процедур. Геометрически эта структура представляет собой двухуровневое дерево с несколькими корневыми вершинами (верхний уровень). Каждая корневая вершина дерева автоматной функции отвечает некому элементу. В каждой вершине этого уровня определяются имя и тип соответствующей процедуры элемента, а также число подвешенных к ней терминальных вершин, отвечающих событиям, которые ощутимы (см. раздел 3) при выполнении данного элемента. Наконец, в каждой терминальной вершине указываются 1) правило регистрации соответствующего события; 2) элемент, к которому прибор перейдет из данного при данном событии (если оно будет старшим среди реализовавшихся).

е) Процедуры коммутации сигналов на уровне объектов и групп. Коммутация сигналов на уровне объектов и групп состоит во-первых, в соединении входов-выходов разных приборов одного объекта (или разных объектов и групп, входящих в данную группу), и во-вторых, в соединении входных сигналов объекта (группы) с входными сигналами входящих в него приборов (объектов и групп), а также выходных сигналов объекта (группы) с выходными сигналами входящих в него приборов (объектов и групп).

ж) Процедуры увязки модулей в систему. Это процедуры, вызываемые в исполнительной части модулей приборов, объектов и групп. Они сообщают системе количества входных и выходных сигналов, длину фазовых переменных, число подчиненных для объектов и другие характеристики “участников” имитационного эксперимента. Кроме них имеется процедура включения в систему средств визуализации.

В ходе дальнейшего развития инструментальной системы построения имитационных моделей предполагается создание языка описания моделей, операторы которого будут порождать действия аналогичные порождаемым вызовами подпрограмм модулей инструментальной части системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вирт Н.*, Программирование на языке МОДУЛА-2. М., “Мир”, 1987, 222 стр.

2. *Андреанов А. Н., Бычков С. П., Хорошилов А. И.*, Программирование на языке СИМУЛА-67. М., “Наука”, 1985, 288 стр.