

4. Crespi-Reghizzi S., Mandrioli D., *Petri nets and Commutative Grammars, Interel Report 74-5, Laboratorio die Cocolatori, Istituto di Electtro-technica ed Elektronika del Politecnio di Milano, Italy, 1974, 80p.*

5. Moe J.D. *Nets in modeling and simulation. "Lect. Notes Comput. Sci", 1980, 84, p. 347-368.*

6. *The non-sequential Behaviour of Petri nets. Coltz U., Rezig W., "Inf. and Contr.", 1984, 57, No. 2-3, p. 125-147.*

7. Holt A., Commoner F., *Events and Condition. Record of the Project MAC, N. Y.: ACM, 1970, p. 1-52.*

8. Zuse K. *Petri-nets from the engineer's view-point. Lecture 1 "Lect. Notes Comput. Sci.", 1980, 84, p. 441-449.*

9. Цифровая имитация автоматизированных систем /А.А.Болтянский, В.А.Виттих и др. - М.: Наука, 1983. - 263 с.

10. *Dijkstra E.W. Cooperating sequential processes. - In: Programming Languages. N. Y.: Academic Press, 1968, p. 43-112.*

УДК 658.512.2.011.56

В.П.Дерябкин, В.В.Бойко

ФОРМАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ  
И АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ  
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

(г. Куйбышев)

АСНИ и АСУ ТП, рассматриваемые как системы управления процессом исследования (испытания) и технологическим процессом, соответственно, должны создаваться на единой методологической основе. В качестве такой основы предлагается функциональный подход с использованием понятий автоматизированного технологического комп-

лекса (АТК), автоматизированного исследовательского комплекса (АИК) и автоматизированного проектировочного комплекса (АПК).

Понятия АИК и АПК вводятся по аналогии с АТК /1/. Компонентами АТК являются АСУ ТП, управляемый объект и технолог-человек, коллектив, система более высокого уровня. Компонентами АИК являются АСНИ, объект исследования, технологическое оборудование исследователя, исследователь-человек, коллектив, система более высокого уровня. Компонентами АПК являются САПР, объект проектирования, технологическое оборудование проектирования, проектировщик-человек, коллектив, система более высокого уровня.

АПК - специальный комплекс, предназначенный для проектирования АСНИ и АСУ ТП и располагающий всеми необходимыми инструментальными средствами поддержки технологии проектирования.

Выходной продукт и цели функционирования АТК и АИК различны, но как в АТК, так и в АИК протекают процессы преобразования и перемещения информации, энергии и вещества, что соответствует реализации информационных, энергетических и вещественных функций. Такая классификация является условной: в реальной системе эти процессы взаимосвязаны. Однако анализ взятой в отдельности каждой из сторон реального процесса является важным для декомпозиции в методическом отношении, так как позволяет построить при анализе и проектировании соответствующую совокупность моделей /1, 5/. В общем случае совокупность таких моделей и расчетов по этим моделям можно представить в виде множества абстрактных операций, совершаемых над абстрактными структурами данных. Значения абстрактных структур данных определяют состояние системы. Предлагается при проектировании использовать концепцию абстрактных машин /2/, в которой проектируемая система представляется в виде иерархии моделей разного уровня абстракции, начиная от модели физической (программно-аппаратной) реализации системы и кончая концептуальной абстрактной моделью верхнего уровня - интерфейсом системы со всеми остальными компонентами комплекса.

В настоящее время концепция абстрактных машин и состояний этих машин широко используется в различных технологиях проектирования программных систем, но и в принципе эта концепция может быть распространена и на проектирование программно-аппаратных комплексов независимо от их физической реализации.

Сложные абстрактные машины могут декомпозироваться на модули - внутренние относительно независимые части.

Процесс проектирования АСНИ и АСУ ТП, задаваемый алгоритмом функционирования АПК, рассматривается как управляемый процесс принятия проектных решений. Принятие решений производится путем последовательного определения (спецификации) функций (операций) и структур данных абстрактной машины каждого уровня абстракции и реализации этих функций и структур данных в терминах машины нижележащего уровня. При этом функциональные спецификации определяют лишь входные и выходные структуры данных (результат вызова функции) и условия, при которых инициализация функции (операции) возможна (в том числе и временные ограничения).

Отделение спецификации результата от конкретной реализации позволяет поставить и решить задачу верификации (доказательства правильности) проекта. Для решения задачи верификации спецификация должна быть формальной.

Считая разработку программного обеспечения АСНИ и АСУ ТП наиболее трудоемкой операцией в АПК, определим необходимый состав инструментальных средств поддержки процесса разработки программного обеспечения (см. также /5/):

- языки спецификаций;
- языки проектирования (реализации);
- средства анализа спецификаций и реализаций;
- средства верификации и тестирования;
- средства моделирования и отладки;
- средства ведения архивов и баз данных;
- средства документирования и генерации отчетов;
- средства управления проектом.

Известны практически "работающие" формальные языки спецификаций и проектирования *SPECIAL* /2/, *PSL/PSA* /3/ и др. С нашей точки зрения, для миниЭВМ в настоящее время, в силу ограниченности ресурсов, наиболее перспективны языки, построенные на базе расширения языка системного программирования *MODULA-2* /4/. Этот же язык может явиться основным при программировании других инструментальных средств.

АСНИ и АСУ ТП относятся к классу систем реального времени, в которых анализ временных соотношений при реализации спецификаций приобретает ключевое значение.

Для анализа временных соотношений предполагается использовать модели, допускающие формальные методы исследования поведения абст-

рактных машин. Такими моделями могут быть временная логика программ /6/, алгебра событий /7/, конечные автоматы /8/, временные сети Петри /9/. Временная логика программ рассматривает время как последовательность упорядоченных состояний, под которыми понимается совокупность значений программного счетчика и значений программных переменных. Попытка ввести метрическое время в формально-логический язык приводит к чрезмерной сложности и практической нереализуемости процедур анализа логических выражений.

Поведение машин с учетом временных ограничений может быть задано средствами специальной алгебраической системы, так называемой алгебры событий. Под событием понимается переход машины в новое состояние при выполнении некоторой функции. Поведение машины рассматривается на бесконечном временном интервале и, таким образом, события отображаются бесконечной последовательностью моментов времени.

Функционирование машин во времени на языке логики событий определяется в виде системы алгебраических неравенств. Нахождение условий существования решений системы неравенств позволяет исследовать некоторые свойства поведения абстрактных машин. Однако, в связи с тем, что множество событий образует частично-упорядоченное множество, не существует общих методов решений таких неравенств. Поэтому алгебра событий может иметь ограниченное применение.

Другой подход к аналитическому исследованию поведения абстрактных машин основан на использовании методов конечных автоматов. Автоматная модель обеспечивает быстрые процедуры анализа, но не пригодна для изучения систем с параллельным синхронизированным выполнением функций.

Как показало исследование моделей реального времени, наиболее универсальной и достаточно эффективно анализируемой моделью являются временные сети Петри. Сети Петри позволяют описывать потоки управления в распределенных системах. Они моделируют условия (позиции сети) и события (переходы сети). Отличие временной сети от традиционных сетей Петри заключается в том, что с каждой позицией связывается время нахождения управления в данной позиции.

Общий метод анализа временных сетей Петри заключается в построении таймированного (временного) графа достижимых состояний /9/. Вместе с тем, если не вводятся дополнительных ограничений на структуру сети, граф достижимости в общем случае не будет конечным. Конечный таймированный граф достижимости может быть получен для так

называемых управляемых временем безопасных сетей Петри. Безопасная сеть предполагает, что очередной запуск каждой функции или группы функций должен происходить после их завершения. Управляемая временем сеть Петри – это временная сеть, в которой имеется образующая петлю цепочка из одной позиции и одного перехода, моделирующая финирированный цикл повторного запуска распределенной системы. Анализируя соотношения времен нахождения управления в позициях при определении очередного срабатывающего перехода сети, можно получить систему неравенств, связывающих времена, при которых обеспечивается безопасное функционирование управляемой временем сети. Такая система неравенств образует совокупность проектных требований к реализации специфицированных абстрактных машин.

Процедура формирования временных соотношений, обеспечивающих требуемое функционирование (для рассмотренной модели), может быть полностью формализована и использована в качестве алгоритмического обеспечения автоматизированной подсистемы анализа спецификаций в рамках предлагаемой технологии проектирования.

#### Библиографический список

1. Скурихин В.И., Дубровский В.В., Шифрин В.Б. АСУ ТП проектная разработка алгоритмов управления. – Киев: Наукова думка, 1980. – 296 с.

2. Berg H.K., Boehm W.E., Franta W.R., Mohr T.G. *Formal methods of program verification and specification*. Prentice-Hall, Inc. Englewood cliffs, New Jersey, 1982. – 207 pp.

3. Зелкович М., Шоу А., Гэннон Дж. Принципы разработки программного обеспечения. – М.: Мир, 1982. – 368 с.

4. Вирт Н. Модуль-2/Языки программирования: Сб. науч. работ. – М.: Наука, 1985. – С. 3–46.

5. Виттих В.А., Выставкин А.Н., Дерябкин В.П., Олейников А.Я. Инструментальные средства проектирования и отладки компонентов технического и программного обеспечения АСНН реального времени. – М.: ИРЭ АН СССР, 1985 (Препринт № 13 (431)). – 28 с.

6. Pnueli A. *The temporal logic of programs* Proc. 18<sup>th</sup> FOCS, IEEE Computer Society, 1977, Nov, pp. 46–57.

7. Caspi P., Halbwachs n. Algebra of events: a model for parallel and real-time systems. Proc. Int. Conf. Parallel Process., Aug, 24-27, 1982, New York, pp. 150-159.

8. Brown M.E., Weide B.W. Automating process-to-processor mapping under real-time constraints. Proc. Real-Time Syst. Symp., Austin Tex., Dec, 4-6, 1984, Silver Spring, Md., 1984, pp. 145-150.

9. Razouk R.R., Phelps C.V. Performance analysis using timed Petri Nets. Protocol Specification, Testing, and Verification, IV, North-Holland Pub. Co. IFIP, 1985, pp. 561-576.

УДК 681.31.004.14

Л.Д.Михеева, Т.В.Моисеева, Л.П.Поцелуева

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ  
ТАКТИКИ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТА

(г. Куйбышев)

Одним из способов повышения эффективности научного труда является автоматизация экспериментальных исследований на базе использования вычислительной техники.

Планирование и подготовка автоматизированного эксперимента предполагают анализ его реализуемости с учетом параметров используемых аппаратно-программных средств и заданных временных ограничений /1/, а также разработку эффективной тактики автоматизации, позволяющей реализовать эксперимент с минимальными затратами. В частности, возникает задача выявления "узких мест" в ходе эксперимента для сокращения затрат времени на выполнение исследований.

Для выработки тактики автоматизации, т.е. для определения конкретных работ и операций в процессе исследования, подлежащих автоматизации, предлагается использовать сетевой график эксперимента. При разработке сетевого графика необходимо представить основные временные параметры эксперимента. Полная длительность автоматизирован-