

УДК 004.7:371.091.3:378

А. С. Кобайло

Белорусский государственный технологический университет

**ТЕОРИЯ СИНТЕЗА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ
КАК ПЛАТФОРМА ДЛЯ ОСВОЕНИЯ МЕТОДИК ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ДВУХ УРОВНЯХ**

Рассмотрены возможности использования элементов теории синтеза вычислительных систем реального времени (ТСВСПВ) для обучения студентов теоретическим основам проектирования технических средств информационных систем на первом (аппаратном) уровне на основе базовых положений данной теории. Анализ особенностей ВС, для которых используется методология проектирования согласно изучаемой теории, позволяет сделать вывод о принадлежности этих ВС к классу МКМД, теоретические подходы к проектированию которых до настоящего времени отсутствовали; таким образом, студентам предоставляется возможность изучения новейших достижений в области методологии проектированию вычислительных систем с нетрадиционной архитектурой. Использование положений ТСВСПВ для проектирования компонентов информационных систем (ИС) второго (программного) уровня обеспечивает приобретение студентами практических навыков создания инновационных технологий проектирования путем разработки программного обеспечения уникальных систем автоматизированного проектирования технических средств ИС специального назначения.

Ключевые слова: синтез, вычислительная система, проектирование, технические средства, программное обеспечение, методика.

A. S. Kobaylo

Belarusian State Technological University

**THEORY OF REAL-TIME COMPUTING SYSTEMS' SYNTHESIS
AS A PLATFORM FOR DEVELOPMENT DESIGNING METHODS
FOR INFORMATION SYSTEMS ON TWO LEVELS**

The possibilities of using elements of the synthesis theory of real-time computing systems (TSVSRV) to teach students theoretical bases for designing technical means of information systems on the ground (hardware) level based on the basic data of the theory have been considered. The analysis of the CS features, with using design methodology in accordance with the studied theory leads to the conclusion about belonging of CSs to the class SISD. There still haven't been theoretical approaches to the design of such class; so that students have the opportunity to explore the latest achievements in the field of methodology of designing computer systems with unconventional architecture. Using TSVSRV for the design of the second IS components (software) level provides students with practical skills in the creation of innovative design technologies through the development of unique software systems, computer-aided design hardware IS for special applications.

Key words: synthesis, computer system design, hardware, software, methodology.

Введение. Учебные программы и разработанная на их основе учебная и методическая литература по учебной дисциплине «Проектирование информационных систем» и другим дисциплинам аналогичного направления в подавляющем большинстве ВУЗов Республики Беларусь, Российской Федерации, в интернет-университетах ориентированы в первую очередь на изучение CASE-технологий (как правило, инструментальной среды BPwin и унифицированного языка моделирования UML как средств соответственно функционального и объектно-ориентированного проектирования программного обеспечения информационных систем). При этом игнорируется не менее актуальная задача высшей школы – изучение мето-

дик разработки и приобретение навыков создания принципиально новых информационных систем, в том числе и для проектирования средств аналогичного вышеназванным CASE-средствам назначения, т. е. автоматизации проектирования различных компонентов ИС.

Основная часть. Указанная проблема решается на кафедре информационных систем и технологий БГТУ путем преподавания студентам основ теории синтеза вычислительных систем реального времени (ТСВСПВ), что обеспечивает теоретическое обучение и приобретение студентами практических навыков проектирования информационных систем (ИС) на двух уровнях – аппаратном и программном [1].

Проектирование компонентов ИС первого уровня. На первом (аппаратном) уровне ИС используются технические средства, состав которых зависит от назначения ИС. В большинстве случаев это унифицированные средства вычислительной техники, не требующие использования специальных методов их разработки. Поэтому с точки зрения обучения студентов современным методикам проектирования ТС ИС наибольший интерес представляет проектирование специализированных вычислительных систем (ВС), таких как системы управления технологическими процессами и производством, обучающие системы, системы моделирования, обработки данных, автоматизации научного эксперимента, испытаний технических средств различного назначения и т. п. Эти системы, реализующие, как правило, вычислительный процесс, описываемый сложными аналитическими зависимостями, отличаются нетрадиционной архитектурой, должны удовлетворять требованиям функционирования в реальном масштабе времени, и их проектирование предполагает знание специальных методов проектирования таких средств ВС.

Среди известных формальных методов синтеза средств вычислительной техники, изучаемых в ВУЗах в рамках различных дисциплин, связанных с освоением основ проектирования средств вычислительной техники, наибольшее распространение получил метод синтеза цифровых автоматов, являющийся эффективным способом проектирования логических схем, управляющих устройств, логического синтеза каскадных схем. Однако для синтеза вычислительных систем, ориентированных на реализацию аналитических выражений небулевого характера, этот метод является принципиально непригодным.

Проектирование вычислительных устройств возможно с использованием логико-комбинаторного подхода к синтезу структур сложных систем [2]. Однако ориентация этого подхода на комбинации элементов известных технических решений с последующим выбором оптимальной структуры сводит эту методологию к обыкновенному анализу и не обеспечивает нахождения нетрадиционных перспективных решений.

Кроме того, ни один из известных формальных подходов к проектированию технических средств вычислительной техники не учитывает требований реализации вычислительного процесса в реальном масштабе времени.

Вышеприведенные положения обуславливают целесообразность изучения основных положений ТСВСПВ как методологии разработки программных средств системы автоматизиро-

ванного проектирования ТС специализированных ИС. Отметим некоторые особенности объектов, на разработку которых ориентирована данная теория.

Во-первых, уточним термин «Вычислительная система», под которым будем понимать совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих функциональных и (или) конструктивно законченных вычислительных модулей, предназначенных для решения определенного ряда задач или одной конкретной задачи по обработке, передаче или сохранению информации. В дальнейшем указанные модули будем называть функциональными устройствами, под которыми будем понимать компоненты самых разных иерархических уровней: от элементарных функциональных элементов или групп элементов, выполняющих простейшие функции в составе БИС, ПЛИМ или БМК, до процессоров, сопроцессоров или целых ЭВМ. Такая точка зрения на термин «вычислительная структура» позволяет распространить его на технические средства от микро- до макроуровней или от БИС либо их основных фрагментов до мощных комплексов, систем и сетей.

Во-вторых, разговор будет вестись про ВС реального времени, это значит, про ВС, работающие в режиме реального времени – режиме обработки данных, при котором взаимодействие ВС с внешними по отношению к ним процессами осуществляется в моменты, определяемые скоростью протекания этих процессов. Отметим, что требование реализации режима реального времени обуславливает при проектировании таких ВС в качестве основной решение задачи обеспечения временных соотношений между их компонентами как основы построения таких ВС, поэтому доминирующую роль в теории занимает концепция организации вычислительного процесса в реальном времени, в то время как вопросы пространственного построения ВСПВ могут стать темой дальнейших исследований в этой отрасли.

Третья особенность проектируемых ВС также связана с требованиями режима реального времени, согласно с которыми должна обеспечиваться обработка данных сразу после их поступления, а также выдача результатов или управляющей информации в требуемые интервалы времени параллельно для разных внешних объектов. В этом случае будем ориентироваться на параллельно-конвейерные вычислительные архитектуры – архитектуры с множественными потоками данных, обработка которых по параллельным ветвям подразумевает конвейеризацию.

Сложность в общем случае для разных классов задач математических моделей или алгоритмов функционирования ВС наряду с ориентацией

не только на низшие и средние, но и на высшие иерархические уровни проектируемых ВС предполагает использование для реализации вычислительного процесса в качестве базовых операций набор самых разнообразных (в том числе и специальных) математических функций или целых алгоритмов, подпрограмм и т. д., что обуславливает такое свойство соответствующих ВС, как их неоднородность.

В целом, как видно из вышесказанного, проектируемые ВСРВ отличаются наличием множества путей обработки данных, каждый из которых независимо от других одновременно выполняет последовательность действий по реализации программы, которую предполагается заложить в структуру этой ВС. Требование реализации каждым из выделенных путей своих функций в реальном масштабе времени может быть удовлетворено использованием основных архитектурных принципов достижения высокой производительности – конвейеризации и параллелизма. Согласно классификации Флинна, параллельные системы относятся к архитектурам класса ОКМД (одиночный поток команд – множественный поток данных); конвейерные системы согласно современным концепциям – к архитектурам класса МКМД (множественный поток команд – одиночный поток данных). Сочетание этих двух принципов архитектурной организации в системах, для синтеза которых предлагается данная теория, позволяет отнести эти технические средства к системам класса МКМД (множественный поток команд – множественный поток данных). Как отмечается в современной литературе и интернет-источниках, единого теоретического подхода к проектированию систем такого класса нет. В то же время опыт, накопленный автором настоящей статьи в области проектирования и практического создания автоматизированных систем испытаний радиоэлектронного оборудования различного назначения (виброиспытаний узлов ЭВМ, электрических испытаний радиотехнических систем) и их структурных компонентов, в частности специализированных вычислительных устройств для моделирования различного вида физических воздействий на объект исследований (генераторов импульсных и непрерывных случайных процессов, имитаторов радиосигналов и т. п.), привел к выработке некоторых общих подходов к проектированию таких систем. Обобщение этих наработок отразилось в создании теории синтеза вычислительных систем реального времени (ТСВСРВ), представляющих собой, как показано выше, системы класса МКМД.

Таким образом, создание теории синтеза вычислительных систем реального времени является попыткой восполнить данный пробел в теории вычислительных систем. Изучение основных положений данной теории обеспечивает обучение студентов на примере инновационной методики проектирования вычислительных систем и их структурных компонентов.

Проектирование компонентов ИС второго уровня. Методика проектирования в соответствии с данной теорией позволяет на основе математической модели вычислительного процесса проектируемой системы и требований реализации этого процесса в реальном масштабе времени на имеющемся в распоряжении разработчика наборе функциональных устройств (ФУ) с известными характеристиками, способных в совокупности реализовать все операции алгоритма функционирования системы, синтезировать множество работоспособных систем, количество N которых определяется следующим соотношением [3]:

$$N = \sum_{w=1}^W \prod_{m=1}^{M_w} \left(\sum_{k=1}^{K_m^{(w)}} \frac{K_m^{(w)}!}{k!(K_m^{(w)} - k)!} + 1 \right),$$

где W – количество вариантов назначения ФУ вершинам графа алгоритма (ГА) реализации математической модели проектируемой системы (мощность так называемого множества векторов назначения); M_w – количество подмножеств свертываемых вершин, возможных при w -м варианте назначения ФУ; $K_m^{(w)}$ – мощность m -го подмножества свертываемых вершин w -го варианта назначения ФУ вершинам ГА.

Синтез систем, количество альтернативных вариантов которых определяется приведенным выражением, и анализ всех вариантов с целью выбора оптимального невозможен без автоматизации проектирования систем.

Анализ состояния в области автоматизации проектирования сложных технических систем показывает, что известные САПР, применение которых возможно при решении задач автоматизации проектирования средств вычислительной техники, предназначены, в первую очередь, для решения рутинных инженерно-конструкторских и технологических задач, таких как проектирование принципиальных схем по готовым функциональным схемам (для сложных задач используются САПР OrCAD (PSPICE A/D) и SPECCTRA, P-CAD 2000-200X (ACCELEDA) и Altium Designer (Protel), eProduct Designer, PowerPCB, CAM 350, Viewlogik (Analog), BETASoft, MATLAB + Simulink и т. д.), проек-

тирование печатных плат (программа PeakFPGA компании Altium, модуль PLD, входящий в состав пакета Protel компании Altium, программа FPGA-Studio компании Cadence Design Systems, программы Fusion/SpeedWave, Fusion/VSCO, Fusion/ViewSim, ViewPad компании Innoveda, пакет программ SystemView компании Elanix), анализ электромагнитной совместимости (SpeedtrXP), проектирования ПЛИС (интегрированный пакет Microwave Office 200X компании AWR, система полного электромагнитного моделирования EMPIRE компании IMST, система полного электромагнитного моделирования Quick Wave-3D компании QWED, система полного электромагнитного моделирования CST Microwave Studio компании CST), электронных схем и чертежей (Модуль Elektra-CAD компании Desktop EDA для пакета Protel, пакет WSCAD компании WSCAD Electronic, пакет PCschematic Automation компании DpS CAD-center ApS, пакет Autocad Electrical компании Autodesk), конструкции устройства (системы AutoCAD ProEngineer и SolidWorks, программа CADSTAR фирмы Zuken), а также для моделирования электронных схем на поведенческом уровне (пакет SystemView компании Elanix; пакет Microwave Office компании AWR). В то же время отсутствуют системы для автоматизации наиболее интеллектуальных этапов проектирования – структурного и функционального синтеза. Последнее обстоятельство обуславливает актуальность проблемы разработки программных средств автоматизации функционального проектирования вычислительных систем с нетрадиционной архитектурой.

Высокая степень формализации положений теории синтеза вычислительных систем реального времени позволяет алгоритмизировать процедуры синтеза ВСПВ как компонентов ИС первого (аппаратного) уровня, предоставляя тем самым возможность создания уникального программного обеспечения ИС автоматизации проектирования названных компонентов ИС. Изучение возможностей использования ТСВСПВ как основы для создания программного обеспечения системы автоматизации проектирования

технических средств (ТС) ИС базируется на выполнении цикла лабораторных работ, каждая из которых ориентирована на программную реализацию отдельной процедуры синтеза [4]. Объединение всех работ или групп взаимосвязанных решением некоторых задач этапов проектирования в рамках выполнения курсовых и дипломных проектов позволяет создать интегрированный программный продукт, который может рассматриваться как некоторая версия программного обеспечения уникальной САПР ТС ИС. Разработка алгоритмов и программ на базе положений данной теории позволяет студентам в процессе лабораторных занятий, курсового и дипломного проектирования применять приобретенные ими навыки программирования в области создания компонентов ИС второго уровня – программного обеспечения одного из важнейших, согласно общепринятой классификации, классов ИС – систем автоматизации проектирования ТС ИС, не имеющих аналогов в мировой практике, позволяющих автоматизировать наиболее интеллектуальные стадии проектирования – стадии структурного и функционального синтеза.

Преподавание основ ТСВСПВ, помимо изучения новейших теоретических основ проектирования специализированных ТС ИС, в качестве второй задачи позволяет решить проблему приобретения студентами навыков разработки новых инновационных технологий в виде программных средств автоматизации проектирования ВС определенного класса.

Заключение. Таким образом, изучение положений ТСВСПВ позволяет обеспечить обучение проектированию ИС на двух уровнях:

– изучение на основе положений теории синтеза вычислительных систем реального времени новейшей методики проектирования ТС ИС как компонентов ИС 1-го уровня;

– приобретение практических навыков разработки на основе этой методики компонентов ИС 2-го уровня в виде программного обеспечения уникальных ИС для автоматизации проектирования технических средств специализированных вычислительных систем.

Литература

1. Кобайло А. С. Теория синтеза вычислительных систем реального времени. Минск: БГТУ, 2010. 256 с.
2. Анкудинов Г. И. Синтез структуры сложных объектов: Логико-комбинаторный подход. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1986. 212 с.
3. Кобайло А. С. Методика формирования множества априорных решений вычислительных систем реального времени // Труды БГТУ. 2013. № 6: Физ.-мат. науки и информатика. С. 149–151.
4. Кобайло А. С. Синтез вычислительных систем реального времени: лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2012. 97 с.

References

1. Kobaylo A. S. *Teoriya sinteza vychislitel'nykh sistem real'nogo vremeni* [The theory of the synthesis of computing systems of real time]. Minsk: BGTU Publ., 2010. 256 p.
2. Ankudinov G. I. *Sintez struktury slozhnykh ob'yektov: Logiko-kombinatornyy podkhod* [The synthesis of the structure of complex objects: Logical-combinatorial approach]. Leningrad, Publishing House of Leningrad University, 1986. 212 p.
3. Kobaylo A. S. Methods of forming a plurality of a priori decisions computing real time. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 6: Physics and Mathematics. Informatics, pp. 149–151 (In Russian).
4. Kobaylo A. S. *Sintez vychislitel'nykh sistem real'nogo vremeni: laboratornyy praktikum* [Real-time synthesis of computing systems: laboratory practical]. Minsk, BGTU Publ., 2012. 97 p.

Информация об авторе

Кобайло Александр Серафимович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных систем и технологий. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kac_53@mail.ru

Information about the authors

Kobaylo Alexander Seraphimovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, Assistant Professor, the Department of Information System and Technologies. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kac_53@mail.ru

Поступила 15.04.2016