

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

М. Б. Игнатьев

КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА

Учебное пособие



Санкт-Петербург
2010

УДК 004.9
ББК 32.81
И26

Рецензенты:

главный научный сотрудник Института философии РАН,
доктор философских наук, профессор *Д. И. Дубровский*;
ученый секретарь Института проблем информатики РАН,
кандидат технических наук, доцент *В. Н. Захаров*;
заведующий кафедрой философии ГУАП,
доктор философских наук, профессор *В. Н. Михайловский*

Утверждено
редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

Игнатъев М. Б.

И26 Кибернетическая картина мира: учеб. пособие / М. Б. Игнатъев. – СПб.: ГУАП, 2010. – 416 с.: ил.
ISBN 978-5-8088-0581-1

Пособие посвящено вопросам и перспективам развития кибернетики, информатики и системного анализа, особый упор делается на еще не решенные проблемы. Рассматриваются эволюция картины мира в связи с развитием науки и техники, новые методы моделирования сложных систем, робототехнические системы, вычислительные системы и сети, технология виртуальных миров. Книга опирается на универсальный способ моделирования – лингво-комбинаторное моделирование слабо формализованных систем.

Учебное пособие может быть использовано при подготовке специалистов, бакалавров и магистров по дисциплинам «История и методология развития вычислительной техники и информатики» и «Современные проблемы информатики».

УДК 004.9
ББК 32.81

ISBN 978-5-8088-0581-1

© Санкт-Петербургский государственный
университет аэрокосмического
приборостроения (ГУАП), 2010
© М. Б. Игнатъев, 2010

«Есть многое на свете, друг Горацио, что недоступно нашим мудрецам».

У. Шекспир

ПРЕДИСЛОВИЕ

Преподавание дисциплин «История и методология развития вычислительной техники и информатики» и «Современные проблемы информатики» является важным элементом подготовки специалистов в области информационных технологий в условиях их быстрого развития, когда компьютер стал самой распространенной машиной и сложился сетевой человекомашинный интеллект. Имеется ряд книг по истории развития вычислительной техники, среди которых следует особо отметить монографию коллектива авторов под редакцией В. С. Бурцева, изданную к 100-летию С. А. Лебедева (Сергей Алексеевич Лебедев. – М.: Физматлит, 2002. – 440 с.). Но в настоящее время отсутствует обобщающее учебное пособие по вышеуказанным дисциплинам, которые опираются на системный анализ, кибернетику и информатику. Попытку восполнить этот пробел делает автор в данном пособии.

Основополагающие модели системного анализа вольно или невольно заимствованы из трех областей – биологии, экономики и анализа языка. В биологической проекции человекомашинные структуры выступают как структуры, имеющие функции, получающие раздражения (как физиологические, так и социальные, межчеловеческие, культурные) и отвечающие на них, приспособляющиеся, развивающиеся, подчиняющиеся требованиям своего времени и окружения, имеющие определенные условия существования и возможность определить средние нормы приспособления, позволяющие им функционировать.

В экономической проекции человекомашинные структуры выступают как нечто, имеющее потребности и желания, ищущее их удовлетворения и имеющее интересы, добывающееся выгоды, противопоставляющее себя другим структурам, что проявляется в предельной ситуации конфликта. В результате устанавливается совокупность правил, которые одновременно являются и ограничениями, и средствами преодоления конфликтов.

В языковой проекции человекомашинное поведение проявляется в своей нацеленности на высказывание чего-то, и все, даже са-

мые незначительные жесты, получает смысл. Все, что окружает человекомашинные системы: объекты, ритуалы, привычки, речь, – вся эта сетка следов складывается в связный ансамбль, в систему знаков.

Таким образом, эти три пары: функция и норма, конфликт и правило, значение и система – покрывают область человекомашинных структур, области применения и развития компьютеров.

Пособие состоит из пяти глав.

В первой главе «Научная картина мира и ее эволюция» рассматриваются основные этапы эволюции картины мира вплоть до лингвистического поворота, который четко обозначился в конце XX в.

Вторая глава «Моделирование слабо формализованных систем» является центральной в пособии и базируется на разработанном автором лингво-комбинаторном подходе к рассмотрению различных сложных систем.

Третья глава посвящена робототехнике и искусственному интеллекту и отражает опыт автора в этой области, который с 1972 по 1991 г. был заместителем главного конструктора ГКНТ СССР по робототехнике.

В четвертой главе рассматривается эволюция вычислительных систем и сетей на протяжении шести поколений с учетом опыта автора в разработках многопроцессорных рекурсивных машин.

Пятая глава посвящена отдельным аспектам построения и использования технологии виртуальных миров, она развивает материал коллективной монографии «Архитектура виртуальных миров» под редакцией М. Б. Игнатьева, А. В. Никитина и А. Е. Войсунского, вышедшей в 2009 г.

В приложении приводится важный учебный материал. В-первых, обзор развития бортовых вычислительных систем, написанный ведущими специалистами фирмы «Электроавтоматика». В-вторых, статья по моделированию такой сложной системы как озеро. В-третьих, текст доклада по рекурсивным машинам, сделанный в 1974 г. в Стокгольме на конгрессе ИФИП, что было первым анонсированием советского компьютерного проекта на международном уровне и послужило основой сотрудничества с американской фирмой Control Data Corporation.

Настоящая книга написана как пособие при изучении курсов «История и методология развития вычислительной техники и информатики» и «Современные проблемы информатики», кото-

рые автор на протяжении ряда лет читал студентам-магистрантам 5-го курса Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В книге в основном отражаются нерешенные проблемы кибернетики, информатики и системного анализа, чтобы побудить студентов к разработке и исследованию нового.

Автор будет благодарен за замечания по существу затронутых вопросов, которые можно присылать по адресам E-mail: kira@robotek.ru, ignatmb@mail.ru

Автор благодарит ректора ГУАП А. А. Оводенко, проректора В. И. Хименко, профессоров Л. А. Мироновского, В. В. Михайлова, М. Б. Сергеева, Ю. Е. Шейнина, А. П. Шепету и всех сотрудников кафедры вычислительных систем и сетей за поддержку работы на различных этапах.

ВВЕДЕНИЕ

Электронные вычислительные машины появились в конце 40 – начале 50-х гг. XX в. сразу в нескольких странах – в США, Советском Союзе, Великобритании и др. За прошедшие пятьдесят лет параметры ЭВМ улучшились в миллион раз: увеличилось их быстродействие, выросли объемы памяти, уменьшились габариты, энергопотребление, стоимость. Сегодня компьютер – это самая распространенная машина в мире, которая эффективно используется во всех сферах человеческой деятельности. Но информатика и вычислительная техника возникли не на пустом месте, а на мощном фундаменте человеческой культуры, науки и техники. Для того чтобы понять феномен возникновения и развития информатики и вычислительной техники и определить их перспективы развития, необходимо разобраться в том, что такое сложные системы и как они развиваются во времени и пространстве, что такое параллельные миры. Ключевым понятием теории и практики сложных систем является самоорганизация. На основе компьютерных сетей осуществляется новый этап самоорганизации человеческого общества. Дух нашего времени пронизан идеей самоорганизации в самых разных аспектах, и автор надеется, что ему удалось отразить этот дух времени, *Zeitgeist*. Главная цель настоящей работы – подвести читателя к обсуждению еще не решенных задач и проблем.

В 1948 г. вышла книга Норберта Винера «Управление и связь в животном и машине», а в 1950 г. – его же книга «Кибернетика и общество», что знаменовало новый этап развития наук об управлении. В различных странах в зависимости от идеологии и социально-экономического развития отношение к кибернетике было различным. На первых порах отношение к кибернетике в СССР было отрицательным, в философском словаре она была названа «лженаукой». Лишь в конце 50-х гг. отношение к ней сменилось на восторженное. В этом заключается особенность развития кибернетики в нашей стране. В ноябре 1956 г. возникла секция кибернетики в Ленинградском доме ученых им. М. Горького. Это была первая общественная организация по кибернетике в СССР – только в 1959 г. возник в Москве совет по кибернетике при Президиуме АН СССР во главе с адмиралом А. И. Бергом. Первым председателем секции кибернетики был профессор Л. В. Канторович, будущий академик АН СССР, лауреат Нобелевской премии по экономике. И это не было

случайностью – впоследствии именно лауреаты Нобелевских премий по экономике внесли наибольший вклад в кибернетику.

Если говорить об этапах развития кибернетики, то следует заметить, что впервые термин «кибернетика» был введен французским ученым Андре Мари Ампером (1775–1836) в его книге «Опыт философских наук или аналитическое изложение естественной классификации всех человеческих знаний» (1834 г.). В этой книге он высказал предположение, что со временем возникнет особая наука «кибернетика» об общих закономерностях процессов управления и связи в организованных системах. Он отнес ее к группе политических наук, куда входили физико-социальные науки (социальная экономика и наука об общественном благополучии), военные науки (гоплетика – наука о вооружениях и собственно военное дело), этногенические науки (номология – правоведение, учение о праве, законодательство, политика – права народов и собственно политика). Следует отметить, что в 1830 г. Ампер был избран в число иностранных членов Императорской Академии наук в Санкт-Петербурге.

В 1832 г. иностранным членом Императорской Академии наук в Санкт-Петербурге был избран Чарльз Беббидж (1791–1871), английский математик, который разработал фактически первую универсальную «аналитическую» вычислительную машину.

Х. Г. Кранццентштейн (1723–1795), известный датский физик, механик и медик, впервые в мире построил механическую машину, моделирующую работу речевого тракта. С 1748 по 1753 г. он работал в Санкт-Петербурге после избрания в 1748 г. действительным членом Императорской Академии наук.

Совсем недавно выяснилось, что в далеком 1832 г. Семен Николаевич Корсаков написал интересную статью о классифицирующих логических машинах. С. Н. Корсаков служил в должности коллежского советника в статистическом отделении Министерства внутренних дел, его ценил Николай I. Немецкие ученые считают Корсакова русским пионером искусственного интеллекта.

Конечно, проблемы управления волновали многих и до Ампера, логистика сложилась еще в Древней Греции и Древнем Риме, и поэтому логично говорить о доамперовском периоде развития наук об управлении и связи. В этом периоде необходимо отметить работы Раймонда Луллия по структурному анализу общества и первой логической машине и Готфрида Лейбница по монадологии, которые во многом предвосхитили работы по многоагентным системам.

Второй период развития кибернетики – от Ампера до Винера, когда Д. И. Менделеев осуществил прорыв в системном анализе, построив периодическую систему элементов, когда А. С. Поповым было изобретено радио, когда были реально созданы сложные системы автоматического регулирования и т. д.

В 1833 г. профессор Кембриджского университета Ч. Беббидж разработал проект «аналитической машины» – гигантского арифмометра с программным управлением, арифметическими и запоминающими устройствами. В качестве первого программиста этой машины выступила леди Лавлейс, дочь поэта Байрона. Однако тогда полностью этот проект осуществить не удалось из-за недостаточного развития техники.

Здесь необходимо отметить нашего соотечественника И. А. Вышнеградского, который разработал теорию регуляторов прямого действия и сформулировал условие устойчивости системы регулирования. И. А. Вышнеградский, будучи министром финансов России, добился балансировки бюджета и укрепления курса рубля. Также необходимо отметить работы А. Пуанкаре по качественной теории дифференциальных уравнений. В биологии благодаря работам И. М. Сеченова и И. П. Павлова возникло четкое представление об организме как саморегулирующейся системе. Окончание второго периода развития кибернетики ознаменовано началом атомной и космической эры.

Третий период – от Винера, когда именно в конце 40 – начале 50-х гг. XX в. появились электронные вычислительные машины и четко обозначились поколения ЭВМ, появились реально действующие роботы, была определена структура гена и введено понятие мема. За 50 лет возникли мощные вычислительные сети, которые интегрируют все остальные средства коммуникации. Компьютерная инфраструктура продолжает развиваться. Практика создания и применения компьютеров значительно опережает теорию. В этих условиях говорить о теоретических основах информатики сложно, но, с другой стороны, имеется много примеров неэффективного применения компьютеров, и необходимость выработки теоретических основ становится все острее.

Четвертый период начался в 2000 г., когда стало ясно, что существующие модели в различных отраслях науки и техники недостаточно отражают информационно-управляющие свойства структур. По сути, люди пользуются моделями XIX в. Этот период характеризуется провозглашением новой стратегической компьютерной

инициативы США в XXI в., в которой предлагается новая трактовка структуры предметной области, Computational Science, которая должна объединить Algorithms, Modeling & Simulation, Computer Science & Information Science и Computing Infrastructure, а главной задачей определяется проведение научных исследований в широком диапазоне – от биофизических процессов до исследования фундаментальных физических основ формирования Вселенной. В российской и европейской традиции все эти направления в настоящее время объединяются под названием «информатика» в расширительной трактовке.

Эта книга написана в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения (ГУАП), который ранее назывался Ленинградским институтом авиационного приборостроения (ЛИАП) и был основан в январе 1941 г., что было необходимо для подготовки кадров в области авиации в условиях надвигающейся войны. Но уже тогда ЛИАП привлекался для разработки перспектив освоения космоса. Летом 1945 г. состоялась Потсдамская конференция победителей над фашистской Германией, в конце этой конференции И. В. Сталин предложил обсудить планы освоения Луны, рядом с ним стояли два порученца с папками соответствующих материалов – это были представители ЛИАП. Но тогда наши союзники заявили, что они не готовы рассмотреть эти космические проблемы и предложили их отложить на будущее, но уже в августе 1945 г. были сброшены атомные бомбы на Японию, началась новая гонка вооружений и холодная война. Космос стал ареной соперничества США и СССР, который первым запустил спутник, и наш Ю. Гагарин был первым человеком, который побывал в космосе. Сотрудники ЛИАП участвовали во многих советских космических программах, в том числе и лунной – по заказу фирмы В. П. Бармина была разработана и изготовлена шестиногая шагающая машина с компьютерным управлением для освоения Луны.

В настоящее время в связи с построением информационного общества возникают совершенно новые фундаментальные проблемы по исследованию мироздания. Все большую роль начинают играть работы наших ученых – В. И. Вернадского, К. Э. Циолковского, А. Л. Чижевского и др. Родилось представление о том, что Вселенная – это модель внутри большого суперкомпьютера, что позволяет использовать структурные достижения компьютерной техники для объяснения сложных космических проблем.

Существует много определений, что такое кибернетика и информатика. Например, Ю. И. Журавлев и И. Б. Гуревич определяют кибернетику как науку об управлении, изучающую главным образом математическими методами общие законы получения, хранения, передачи и преобразования информации в сложных управляющих системах (БРЭ. Т. 13. С. 629). Кибернетику, информатику, синергетику и системный анализ изучают в одной связке, они возникли на стыке различных наук, основой их развития являются междисциплинарные исследования, именно широкой междисциплинарностью отмечена работа секции кибернетики Дома ученых им. М. Горького РАН с момента ее возникновения. Многие аспекты настоящей книги прошли апробацию на семинарах этой секции и семинарах научного совета РАН по методологии искусственного интеллекта, а также на различных международных конференциях.

ГЛАВА 1. НАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА И ЕЕ ЭВОЛЮЦИЯ

Наука – сфера человеческой деятельности, функцией которой является выработка и систематизация знаний о действительности. «Понятие «наука» включает в себя как деятельность по получению нового знания, так и результат этой деятельности – сумму полученных к данному моменту научных знаний, образующих в совокупности научную картину мира. Непосредственные цели науки – описание, объяснение и предсказание процессов и явлений действительности.

«Будучи неотъемлемой от практического способа освоения мира, наука как производство знания представляет собой весьма специфическую форму деятельности, существенно отличную как от деятельности в сфере материального производства, так и от других видов собственно духовной деятельности... В отличие от видов деятельности, результат которых в принципе бывает известен заранее, задан до начала деятельности, научная деятельность правомерно называется таковой лишь постольку, постольку она дает приращение нового знания, т. е. ее результат принципиально нетрадиционен. Именно поэтому наука выступает как сила, постоянно революционизирующая другие виды деятельности». (БСЭ. 1974. Т. 17. С. 323).

От эстетического (художественного) способа освоения действительности, носителем которого является искусство, наука отличается стремлением к обезличенному максимально обобщенному объективному знанию, в то время как в искусстве результаты художественного познания неотделимы от индивидуально-неповторимого личностного элемента. Часто искусство характеризуется как «мышление в образах», а наука – как «мышление в понятиях», имея целью подчеркнуть, что первое развивает преимущественно чувственно-образную сторону творческой способности человека, а наука – в основном интеллектуально-понятийную. Однако эти различия не означают непроходимой грани между наукой и искусством, которых объединяет творчески-познавательное отношение к действительности. С одной стороны, в научных построениях существенную роль играет эстетический элемент, что специально отмечали многие ученые. С другой стороны, произведения искусства несут, помимо эстетической, и познавательную нагрузку. Например, первые шаги К. Маркса в понимании социально-экономической сущности денег в буржуазном обществе опирались на анализ про-

изведений И. В. Гете и У. Шекспира. В настоящее время сформировалось научное направление – артоника, которое занимается изучением структур искусства на предмет их использования в программировании и информатике.

Истоки науки уходят своими корнями в практику ранних человеческих обществ, в которой были нераздельно сплавлены познавательные и производственные моменты. «Производство идей, представлений, сознания первоначально непосредственно вплетено в материальную деятельность и в материальное общение людей, в язык реальной жизни. Образование представлений, мышление, духовное общение людей является здесь еще непосредственным порождением их материальных действий» (К. Маркс и Ф. Энгельс. Фейербах. Противоположность материалистического и идеалистического воззрений. – М.: Политиздат, 1966. – С. 29). Отдаленной предпосылкой науки можно считать и мифологию, в которой впервые была реализована попытка построить целостную всеобъемлющую систему представлений об окружающей человека действительности. В силу своего религиозно-антропоморфного характера эти представления далеко отстояли от науки, более того, формирование науки требовало в качестве предварительных условий критики и разрушения мифологических систем. Для возникновения науки были необходимы также определенные социальные условия: достаточно высокий уровень развития производства и общественных отношений (приводящий к разделению умственного и физического труда и тем самым открывающий возможность систематических занятий наукой), а также наличие богатой и широкой культурной традиции, допускающей свободное восприятие достижений различных культур и народов.

Эти условия сложились к VI в. до н. э. в Древней Греции, где и возникли первые теоретические системы (Фалес, Демокрит и др.), в противовес мифологии объясняющие действительность через естественные начала. Древнегреческая наука (Аристотель и др.) дала первые описания закономерностей природы, общества и мышления, которые сыграли выдающуюся роль в истории культуры – ввели в практику мыслительной деятельности систему абстрактных понятий, превратили в устойчивую традицию поиск объективных естественных законов мироздания и заложили основы доказательного способа изложения материала. В эту же эпоху от натурфилософии начинают обособляться отдельные области знания – область геометрии (Евклид), область механики (Архимед), область астрономии (Птолемей) и др.

В эпоху Возрождения наука начала превращаться в самостоятельный фактор духовной жизни, в реальную базу мировоззрения (Леонардо да Винчи, Н. Коперник), наряду с наблюдением берет-ся на вооружение эксперимент. В результате усилилась познавательная мощь науки (Г. Галилей, И. Кеплер, У. Гарвей, Р. Декарт, Х. Гюйгенс, И. Ньютон и др.).

Успехи механики, систематизированной и завершенной в своих основаниях к концу XVII в., сыграли решающую роль в формировании механистической картины мира, которая приобрела универсальное мировоззренческое значение (Л. Эйлер, М. В. Ломоносов, П. Лаплас и др.). Сложилась классификация наук – классическая, неклассическая и постнеклассическая наука [9, 10].

В настоящее время можно констатировать возврат к мифологической картине мира на новом уровне. В мифологии каждым аспектом жизни заведовало то или иное божество, и люди для достижения своих конкретных целей обращались к конкретному божеству с просьбой помочь, приносили подношения в соответствующие храмы. Например, для удачного путешествия обращались к Гермесу, который как бы отвечал за путешествия.

В наше время на обыденном сознании, опираясь на высокий уровень техники, люди платят в то или иное ведомство, чтобы обеспечить, например, хорошее путешествие – детали решения задачи их не интересуют. В художественной литературе это уже нашло отражение (см. например, роман Владимира Сорокина «Сахарный Кремль»).

Традиционная восточная культура проигрывает западной потому, что не разработала способы перевода философских положений в технологические научные концепции, легко применимые в обыденной практике – медицине, психологии, социологии, технике и т. д. Традиционная и китайская, и восточноевропейская (византийская и построенная на ней российская) цивилизации базируются на моральных принципах (поэтому философия всегда была религиозной), в отличие от западноевропейской (где достаточно рано произошло отделение религии от науки и государства), которая построена на ценности истины (знания, а не любви и добра). Вследствие этого для современной европейской науки свойственно сводить мир к какой-либо низшей относительно человека онтологической реальности – атомы, молекулы, энергия и т. п. Восточная и восточноевропейская философии религии сводят мир к высшей реальности (Бог, Атман, тьма и т. п., общество в конфуцианстве). Но редукция к выс-

шему – методологический ход, который не позволяет концептуализировать и превращать в научные модели явления жизни. В силу этого философская парадигма стала заимствоваться из другой, западноевропейской цивилизации. В России это началось еще со времен Петра I, а в Китае – со времен буржуазной революции 1911 г. и, особенно, социалистической революции 1949 г.

Пример нетехнологичности при высоком уровне знаний – традиционная китайская медицина. В настоящее время западная наука переводит знания китайской медицины в аппаратуру и лекарства, технологичность применения которых такова, что ими могут пользоваться западные врачи, не перегруженные знаниями и опытом традиционной китайской медицины.

1.1. Мифологическая картина мира

Мифология – фантастическое представление о мире, свойственное человеку первобытной формации, как правило, передаваемое в виде устных повествований – мифов. Человеку, жившему в условиях первобытнообщинного строя, основанного на стихийном коллективизме ближайших родственников, были понятны и наиболее близки только его общинно-родовые отношения. Эти отношения он переносил на все окружающее – Земля, небо, растительный и животный мир представлялись в виде универсальной родовой общины, в которой все предметы мыслились не только как одушевленные, а часто даже и разумные, но обязательно родственные между собой существа. Постепенно в мифологии возникали обобщения.

Первоначальными формами в мифологии были фетишизм (когда одушевлялись отдельные вещи и мыслилось полное неотделение вещи от идеи самой вещи), тотемизм (фетишизация данной общины или племени, выраженная в образе того или другого основателя этой общины или племени). Более высокой ступенью развития мифологии явился анимизм, когда человек стал отделять идею вещи от самой вещи.

По Г. Гегелю, фетишизм – форма первоначальной, непосредственной религии – колдовства, когда человек осуществляет косвенную власть над природой с помощью волшебного средства – фетиша, достигая того, что ему нужно. Формы фетишей разнообразны – камни, куски дерева, части тела животного, идолы, изображения и др.

Тотемизм – комплекс верований, мифов, обрядов и обычаев родоплеменного общества, связанных с представлением о сверхъестественном родстве между определенными группами людей и так называемыми тотемами – видами животных и растений. Тотем – чаще всего вид животных – предмет религиозного почитания группы, носящей его имя, обычно родовой общины, членам которой запрещается охотиться на тотема, убивать его и употреблять в пищу. Тотемная группа считает себя связанной с тотемом общим происхождением от мифических предков – полулюдей-полуживотных или полурастений – и видит в нем покровителя и подателя жизненных благ. Пережитки тотемизма обнаруживаются во всех религиях мира.

Анимизм – вера в существование душ и духов, т. е. фантастических, сверхъестественных, сверхчувственных образов, которые в религиозном сознании представляются действующими во всей мертвой и живой природе агентами, управляющими всеми предметами и явлениями материального мира, включая человека. Если душа представляется связанной с каким-либо отдельным существом или предметом, то духу приписывается самостоятельное значение, широкая сфера деятельности и способность влиять на различные предметы. Души и духи представляются то аморфными, то фитоморфными, то зооморфными, то антропоморфными существами, однако они всегда наделяются сознанием, волей и другими человеческими свойствами.

В связи с ростом обобщающего и абстрактного мышления создавалась новая ступень мифологической абстракции. Она доходила до представления об одном отце людей и богов. Таким предстал олимпийский Зевс, ниспровергнувший своих предшественников в подземный мир и подчинивший других богов себе в качестве детей. Развитие мифологии шло от хаотического к упорядоченному, соразмерному, гармоническому, в чем можно убедиться при сравнении мифологических образов разных исторических эпох. В эпоху патриархата зародились и оформились представления о героической личности, которая побеждает силы природы и организует защиту от соседних племен. Древнегреческий Зевс побеждает титанов, гигантов и Тифона, совершает свои 12 подвигов Геракл, Илья Муромец побеждает Соловья-разбойника и т. д.

Мифологическое мышление пришло к различным историческим и космогоническим обобщениям. Являясь мировоззрением первобытнообщинного строя, всякий миф содержал в себе также

познавательную функцию, попытку разобраться в сложных вопросах: как произошел человек, в чем тайна жизни и смерти и т. п. Мифология была наивной верой, единственной формой идеологии первобытнообщинного строя. В раннеклассовом обществе мифология стала аллегорической формой выражения разного рода религиозных, социально-политических, моральных и философских идей, она широко использовалась в искусстве и литературе. В этом смысле мифология никогда не умирала, мифологические образы и поныне используются современными политическими деятелями, писателями, философами и художниками. Будучи в течение тысячелетий формой осознания природы и человеческого бытия, мифология рассматривается современной наукой как летопись вечной борьбы старого и нового, как повесть о человеческой жизни, ее страданиях и радостях.

1.2. Механистическая картина мира

Механика – одна из древнейших наук, ее развитие непосредственно связано с развитием производительных сил общества. Раньше других разделов возникла статика, что было важно для строительства и создания простейших машин. Термин «механика» был введен Аристотелем. Научные основы статики разработал Архимед (III в. до н. э.). Заслуга формулировки основных законов механики принадлежит И. Ньютону (1687 г.), который обобщил понятие силы и ввел понятие массы. Сформулированный им основной (второй) закон механики позволил успешно решить большое число задач, относящихся главным образом к небесной механике, в основу которой был положен открытый им же закон всемирного тяготения. Небесная механика получила значительное развитие благодаря трудам Эйлера, Д'Аламбера, Лагранжа и Лапласа.

Замечательным достижением было открытие французским астрономом Леверье новой планеты «на кончике пера» – в 1845 г. он занялся изучением неправильностей в движении планеты Уран и показал, что их причина – находящаяся за пределами орбиты Урана неизвестная планета. Леверье вычислил положение этой планеты (позже названной Нептуном), и в 1846 г. астроном Галле наблюдал эту планету в месте, указанном Леверье. Открытие Нептуна с помощью предвычислений – одно из крупнейших событий в области теоретической астрономии.

Первой из наук, которая сформулировала целостную картину мира, опирающуюся на результаты экспериментальных исследований, была физика. В своих зародышевых формах возникающая физическая картина мира содержала множество натурфилософских наслоений. Но даже в этой форме она целенаправляла процесс эмпирического исследования и накопления фактов.

В качестве характерного примера такого взаимодействия картины мира и опыта в эпоху становления естествознания можно указать на эксперименты У. Гильберта (1544–1603), в которых исследовались особенности электричества и магнетизма. Гильберт был одним из первых ученых, который противопоставил средневековой науке новый идеал – экспериментальное изучение природы. Эксперимент с шаровым магнитом выглядит весьма изящным даже по меркам современных физических опытов. В его основе лежала аналогия между шаровым магнитом (тереллой) и Землей. Гильберт исследовал поведение миниатюрной магнитной стрелки, помещаемой в различных точках тереллы, и затем сравнивал эти данные с известными из мореплавания фактами ориентации магнитной стрелки относительно Земли. Из сравнения этих фактов он заключил, что Земля есть шаровой магнит.

Полученные из наблюдений факты могут видоизменять сложившуюся картину мира. В истории науки первой осуществила такую эволюцию физика. В конце XVI – первой половине XVII в. она перестроила натурфилософскую картину мира, господствовавшую в физике Средневековья, и создала научную картину физической реальности – механическую картину мира. Специальные картины мира, возникающие в других областях естествознания, испытывали воздействие механистической картины мира и оказывали обратное влияние на формирование физической картины мира. Следует заметить, что картина мира как предзаданное видение позволяет изучать объекты, для которых еще не создано развитой теории. В этом случае и специальные (частные) картины мира, и естественнонаучная картина мира целенаправляют исследователя и активно участвуют в интерпретации результатов.

Успехи механики привели к разработке механистической картины мира, в которой самые различные явления пытались объяснить лишь с позиций механики. Как ограниченно оправданный метод мышления механицизм был преодолен (снят) Г. Гегелем в диалектическом понимании задач и природы мышления

1.3. Неклассическая картина мира

В начале XX в. выяснилось, что классическая механика И. Ньютона имеет ограниченную область применения и нуждается в обобщении. Во-первых, она неприменима при больших скоростях движения тел, сравнимых со скоростью света. Здесь ее заменила релятивистская механика, построенная на основе специальной теории относительности А. Эйнштейна и включающая в себя ньютонову механику (нерелятивистскую) как частный случай [7, 9].

Для классической механики в целом характерно описание частиц путем задания их положения в пространстве (координат) и скоростей и зависимости этих величин от времени. Такому описанию соответствует движение частиц по вполне определенным траекториям. Однако опыт показал, что это описание не всегда справедливо, особенно для частиц с очень малой массой (микрочастиц). В этом состоит второе ограничение применимости классической механики. Более общее описание движения дает квантовая механика, которая включает в себя как частный случай классическую механику. Квантовая механика, как и классическая, делится на нерелятивистскую, справедливую в случае малых скоростей, и релятивистскую, удовлетворяющую требованиям специальной теории относительности.

Соотношение между ньютоновой и релятивистской механикой определяется существованием фундаментальной величины – предельной скорости света $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/с. Соотношение между классической и квантовой механикой носит менее наглядный характер. Оно определяется существованием другой универсальной мировой постоянной – постоянной Планка \hbar . Постоянная \hbar имеет размерность действия (энергии, умноженной на время) и равна $6,62 \cdot 10^{-27}$ эрг·с. Формально критерий применимости классической механики заключается в следующем: если в условиях данной задачи физические величины размерности действия значительно больше \hbar , то применима классическая механика.

В 1924 г. Л. де Бройль выдвинул гипотезу о всеобщности корпускулярно-волнового дуализма, согласно которой каждой частице, независимо от ее природы, следует поставить в соответствие волну, длина которой связана с импульсом частицы p соотношением $\lambda = h/p$.

Волновые свойства были обнаружены у электронов, протонов и других частиц. В 1926 г. Э. Шредингер предложил уравнение, опи-

сывающее поведение таких «волн» во внешних силовых полях, – так возникла волновая механика. Уравнение Шредингера описывает изменение во времени состояния квантовых объектов, характеризуемого волновой функцией. Для квантовых систем, движение которых происходит в ограниченной области пространства, решения уравнения Шредингера существуют только для некоторых дискретных значений энергий: $E_1, E_2, \dots, E_n, \dots$ – члены этого ряда нумеруются набором целых квантовых чисел. Каждому значению E_n соответствует волновая функция $\psi_n(x, y, z)$. Знание полного набора этих функций дает возможность вычислить все измеримые характеристики квантовой системы. Уравнение Шредингера позволило объяснить и предсказать большое число явлений атомной физики.

Существует многомировая интерпретация квантовой механики, выдвинутая в 1957 г. Эвереттом. Согласно этой теории, в противовес стандартному подходу существует множество миров того типа, который мы в обыденной жизни называем «миром». Эта интерпретация позволяет объяснить эксперименты на нейтронном интерферометре.

В настоящее время развивается подход к квантовым объектам как к сложным самоорганизующимся системам, при этом поведение может быть задано с точностью до точки, до линии (одномерного многообразия) или с точностью до поверхности (двумерного многообразия) и т. д.

В концепции «бутстрапа» Дж. Чу, возникшей на базе матричного подхода, предлагалась картина физической реальности, в которой все элементарные частицы образуют системную целостность. Они как бы зашнурованы друг с другом порождающими реакциями, но ни одна из них не должна рассматриваться как фундаментальная по отношению к остальным. Эта теория и многие другие являются основой формирования постнеклассической картины мира, в которой все еще сохраняются понятия из механики – точки, траектории, круговые орбиты и т. д.

Знаменитый спор между Ньютоном и Лейбницем по вопросу о структуре пространства и времени пока не закончен. Для Ньютона пространство и время – это абсолютные и реальные величины. Лейбниц воспринимал пространство и время совершенно иначе – как порядок или отношение. Пространство – порядок сосуществования, время – порядок последовательности. Физике понадобилось два столетия, чтобы осознать эти релятивистские взгляды Лейбни-

ца, которые пригодились для Эйнштейна и других релятивистов. В связи с появлением понятия киберпространство эти споры возникают вновь [12, 76, 77]. Стала очевидной несводимость сложных форм движения к перемещениям. Содержание человеческой речи не сводится к акустическим процессам колебательных движений частиц воздуха. Высказываются гипотезы, что исходными казуальными законами новой картины мира будут не законы перемещения тождественных частиц, а законы качественных превращений в клетках дискретного пространства – времени, такими законами окажутся законы «самодействия», самоорганизации единой материи. Таким образом формируется трансмутационная картина мира, имея в виду трансмутацию, превращение элементарных частиц в малых объемах. Рассматривается и обратная задача – выведение механических закономерностей из лингво-комбинаторных уравнений.

1.4. Принцип обратной связи

Обратная связь – одно из основных понятий, характеризующих функционирование и развитие систем. Если прямая связь есть передача управляющих сигналов от центрального блока (в частности мозга) к исполнительным органам системы, то обратная связь – передача в центральный блок информации о результатах управления. Прямая и обратная связи образуют замкнутый контур циркуляции информации в системе, представляя собой механизм устранения рассогласования между целью (или аналогом цели) и результатом управления. Обратная связь обеспечивает как стабилизацию параметров управляемого объекта (например, поддержание постоянства температуры, давления и состава крови в живом организме), так и генерацию различных сигналов в случае положительной обратной связи. Механизмы обратной связи подробно изучаются в курсах по автоматическому регулированию и управлению. Рекурсивные вычислительные структуры реализуют принцип обратной связи на новом уровне – формируются метациклические виртуальные машины.

В наши дни видеокамера – обычное устройство, она воспроизводит на телевизионном экране образ той сцены, на которую она обращена. Но что происходит, если видеокамера смотрит на свой собственный экран? Эта ситуация похожа на парадокс Эпименида

(«Это утверждение – ложь») и другие знаменитые парадоксы, ссылающиеся на самих себя. Когда видеокамера смотрит на себя, система «сходит с ума», в чем легко убедиться в эксперименте. Чаще всего картинка стремится к спонтанной упорядоченности и структурированности и превращаются в колеса на оси, спирали, лабиринты, волны и полоски. Иногда эти формы приобретают устойчивость и сохраняются, иногда они ритмично вибрируют и т. д. Видеосистема, наблюдающая самую себя, – пример самоорганизации. Возможны различные усложнения этого опыта, например, видеокамерой можно управлять с помощью музыки, тогда генерируемые изображения будут по-разному отражать структуру каждого музыкального произведения.

Дальнейшее развитие этой системы – кибернетический велосипед, который представляет собой человекомашинную систему. Обычный велосипед закрепляется в стойке, на велосипеде сидит человек, который крутит педали и руль. Перед человеком установлен экран, на котором изображена дорога, по которой он едет. Снимаются сигналы с поворота руля и педалей, эти сигналы передаются в компьютер, который управляет мультимедийным проектором. В этой системе роль видеокамеры выполняют глаза человека, и в зависимости от ситуации на дороге человек крутит руль и педали, таким образом реализуется обратная связь. У человека возникает иллюзия, что он едет по реальной дороге, объезжая препятствия [1, 6].

1.5. Самоорганизация и внешнее управление

Когда говорят о кибернетике как предтече современной теории самоорганизации сложных систем, обычно упоминают имена Н. Винера и У. Росс Эшби. Большой вклад в развитие кибернетики и ее эпистемологических следствий внес немецкий ученый Хайнц фон Ферстер. Под его влиянием чилийский ученый Франсиско Варела разработал теорию автопоэзиса. С точки зрения экспериментальной эпистемологии У. МакКаллоха, кибернетика представляет собой, по сути, теорию познания. Х. фон Ферстер развил свою оригинальную теорию познания, которую сегодня называют конструктивизмом [73, 77].

Фундаментальной идеей кибернетического мышления является идея цикличности, самоотнесенности, обратной связи. Ключевым словом в трудах Х. фон Ферстера является немецкое слово «Eigen»,

соответствующее английскому «self» или русскому «собственный», «само», «Я» (eigenbehavior, eigenelement, eigenfunction, eigenprocess, eigenvalue). Ни одна система не могла бы выжить без способности поддерживать и воспроизводить свое собственное поведение и свою собственную организацию. В самоорганизации всегда есть элемент цикличности, это, по сути, организация организации. Сознание сознания есть самосознание, а понимание понимания есть самопонимание. Кстати, русский писатель Ф. М. Достоевский внес большой вклад в развитие этих понятий.

Согласно Х. фон Ферстеру, окружающий мир в том виде, в котором мы его воспринимаем, есть наше изобретение. Мозг является конструктором карт и моделей, и все наши теории и объяснения являются конструкциями. Нам надлежит принять ответственность за те миры, которые мы конструируем. Кибернетика первого порядка отличается от кибернетики второго порядка тем, что когда первая изучает наблюдаемые миры, вторая изучает наблюдающие системы. Кибернетика первого порядка разделяет объект и субъект, она указывает на предполагаемый независимый мир «там, вне нас». Кибернетика второго порядка сама является циклической – человек научается понимать себя частью того мира, который он намеревается наблюдать. Вся ситуация описания сдвигается в другую область, в которой человек вынужден принять на себя ответственность за свои собственные наблюдения. Каждый осваивает, инактивирует для себя свой собственный мир, конструирует свою реальность, поэтому каждый из нас когнитивно одинок. Цель познания – это сам процесс познания. Правы буддисты, которые говорят, что ты прокладываешь свой путь при движении по нему, ибо путь не есть нечто вечное и заранее заданное, путь возникает в момент движения.

Облик когнитивной науки сегодня – это так называемая телесная когнитивная наука (embodied cognitive science), значительный вклад в разработку концептуальных основ которой внес Ф. Варела. В когнитивной науке сейчас происходит концептуальный поворот от вычислительной к динамической стратегии, основы которой были заложены еще в 60-е гг. [15].

Динамическая стратегия базируется на семи принципах.

1. Познание инкарнировано (cognition is embodied), познание телесно, воплощено, детерминировано телесной облеченностью человека, мезокосмически обусловлено способностями человеческого тела видеть, слышать, ощущать. То, что познается и как познается,

зависит от строения тела и его конкретных функциональных особенностей, способностей восприятия и движения в пространстве и во времени. Устроено по-разному – значит познается мир по-разному. Ум живет в теле, а тело живет в мире, а телесное существо действует, охотится за чем-либо, воспроизводит себя, мечтает, воображает. «Тело живет в мире как сердце в организме», «тело – это наш способ обладания миром» (М. Мерло-Понти), тело и мир образуют единую систему [8, 87].

2. Познание ситуационно. Когнитивная система встроена, укоренена как внутренне – в обеспечивающем ее деятельности материальном нейронном субстрате, так и внешне – включена во внешнее ситуативное физическое и социокультурное окружение. Каждый живой организм раскраивает «мир» по-своему. Он выбирает, черпает из огромного резервуара возможностей мира то, что отвечает его способностям познания. В процессе формирования собственной идентичности живой организм как существо когнитивное вырезает из окружающей реальности контур своей среды. По словам Мерло-Понти, воспринимаемый мир – это совокупность дорог, по которым движется мое тело. Плоть мира – это кладезь возможностей, а познающее тело-разум пробуждает из забвения, выводит на поверхность из бездны кишащих возможностей в данном конкретном акте познания лишь одну из них, лишь что-либо из того, что присутствует миру и одновременно отвечает его познавательным устремлениям, его исследовательским намерениям, его жизненным потребностям.

3. Познание инактивировано (*cognition is enacted*) – познание осуществляется в действии и через действие. Через действия, двигательную активность формируются и когнитивные способности. Познавательная активность в мире создает и саму окружающую среду по отношению к когнитивному агенту, среду – в смысле отбора, вырезания когнитивным агентом из мира именно и только того, что соответствует его когнитивным способностям и установкам. Мир живого организма возникает вместе с его действием. Это – инактивированный мир. Не только познающий разум познает мир, но и процесс познания формирует разум. «Познание есть активное участие, глубинная кодeterminация того, что кажется внешним, и того, что кажется внутренним» (Ф. Варела). Познающий не столько отражает мир, сколько творит его.

4. Когнитивные структуры являются эмерджентными (*cognition is emergent*), они проявляются спонтанно, непредсказуемо и отно-

сительно недетерминированно в ходе процессов самоорганизации, которые охватывают и увязывают воедино мозг человека, его тело и его окружение. Простой пример – киберVELO.

5. Процесс познания индивида протекает во взаимной связи, кодетерминации Я – Другой, их обоюдном и синхронном становлении. Границы между Я и Другим даже в процессах восприятия не очерчены точно, с полной определенностью: быть собой, проявлять свое Я и создавать Другого – это события, сопутствующие друг другу. Наличие другого позволяет говорить о параллельных мирах, каждый из которых имеет свою динамику развития и свои способы взаимодействия с другими.

6. Познание динамично и строится в процессе самоорганизации. Когнитивные системы являются динамическими и самоорганизующимися системами. Функционирование познавательных систем принципиально сходно, единосушно функционированию познаваемых природных систем, т. е. объектов окружающего мира. Именно поэтому в рамках телесного подхода находят плодотворное использование новейшие достижения в области нелинейной динамики, теории сложных адаптивных систем, теории самоорганизованной критичности, синергетики.

7. В процессе познания имеет место циклическая детерминация субъекта и объекта познания. Сложность и нелинейность сопровождающих всякий акт познания обратных связей означает то, что субъект и объект познания взаимно детерминируют друг друга, т. е. находятся в отношении ко-детерминации, они используют взаимно предоставленные возможности, пробуждают друг друга, сорождаются, сотворяются, изменяются в когнитивном действии и благодаря ему.

Наглядный образ такого рода дает нам известная литография М. Эшера «Рисующие руки» (1948 г.). Правая рука рисует манжету с запонкой. Ее работа не закончена, а справа уже детально прорисована левая рука, которая рисует манжету с запонкой, из которой выступает правая рисующая рука. Эти две руки взаимно рисуют друг друга, они взаимно полагают условия своего возникновения и составляют некое единство, некое взаимодействие, которое можно назвать креативным кругом.

В качестве основного математического аппарата в книге используется лингво-комбинаторное моделирование, которое на основе анализа текстов позволяет выявить возможности управления в самых различных системах. При этом управление может быть как

внутренним, осуществляться блоком управления, действующим внутри системы, так и внешним, когда управление осуществляется извне по отношению к системе. В реальности сочетаются эти оба вида управления. Применительно к различным системам предстоит исследовать возможности как внутреннего, так и внешнего управления. Вполне вероятно, что человечество управляется через нервную систему Вселенной.

Экономика со времен Адама Смита существенно изменилась и представляет собой сложную самоорганизованную систему. После великих географических открытий XV – XVI вв. в мире сложился глобальный социокультурный цикл [11]. В наше время этот цикл охватывает все страны и регионы. Каждый человек может быть творцом в отдельный момент времени, творцы производят множество инноваций: проектов, патентов, песен и т. д. Эти инновации после апробации в микросредах, после прохождения цензуры попадают в средства массовой информации и обрушиваются на людей через телевидение, прессу, Интернет и вызывают по ассоциации у некоторых людей рождение новых идей, новых инноваций, и таким образом цикл повторяется многократно. Часть инноваций, проходя через конструкторские бюро и различные производства, превращается в вещи – одежду, машины и т. п. и опять обрушивается потоком на людей и т. д. (рис. 1.1). Этот социокультурный цикл является основой процессов глобализации, в которую погружено все человечество. Непрерывный поток инноваций в самых разных областях человеческой деятельности – неотъемлемый элемент современной

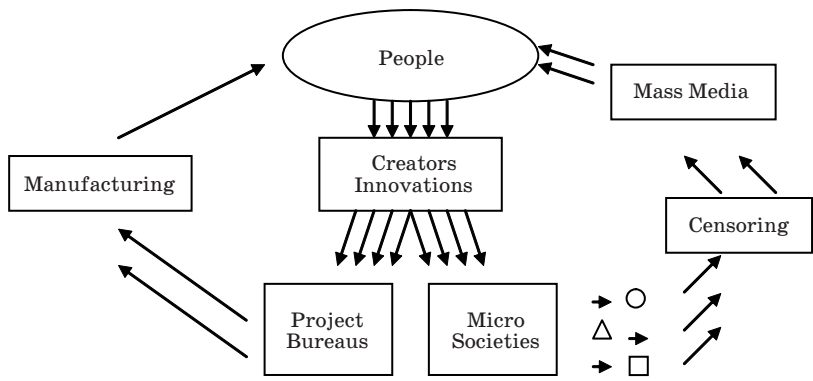


Рис. 1.1. Глобальный социокультурный цикл

картины мира и основа существования потребительского общества. Вместе с тем безудержное развитие потребительского общества ведет к исчерпанию природных ресурсов и росту социальных противоречий в обществе. Растет разница в доходах самых богатых и самых бедных слоев общества, самых богатых и самых бедных стран мира, что ведет к росту напряженности и терроризму. Необходимость международного регулирования этих проблем становится все очевиднее, что привело к рождению концепции устойчивого развития. Устойчивое развитие в русской транскрипции – это неточный перевод с английского слов «sustainable development», что означает поддерживающее развитие [66]. Этому термину много веков, в средневековой религиозной литературе он означал, как пройти по тонкой грани между раем и адом.

В современном обществе большую роль играют деньги. Финансовый цикл оказывает существенное влияние на экономику. Именно в финансовом цикле имело место массированное применение вычислительных систем и сетей. Если в 1950 г. в торгах на биржах мира участвовали тысячи людей, то в 2000 г. – свыше 100 млн чел. (через компьютерные сети). Изобретение кредитной карточки и развитие компьютерных сетей, которые связали магазины и банки, позволило ускорить оборот наличности в 10 раз. В настоящее время в виртуальном финансовом мире оборачивается гигантское количество денег, во много раз превосходящее валовой национальный продукт, что послужило источником многочисленных афер и спекуляций и вызвало в конце 2008 г. мировой финансовый кризис. Существует множество моделей социально-экономических процессов, ниже рассматривается возможность их лингво-комбинаторного моделирования.

Нас окружают человекообразные системы – т. е. системы и объекты, которые мы воспринимаем своими обычными органами чувств, с которыми мы можем манипулировать нашими руками и ногами, с которыми мы можем разговаривать на нашем обычном естественном языке. Помимо этого человекообразного мира существует микромир – мир молекул, атомов, элементарных частиц и других сущностей, с которым непосредственно мы не можем взаимодействовать и изучаем с помощью микроскопов. Кроме микромира существует макромир, мир очень больших систем, объектов и расстояний, мир астрономии и астрофизики, с которым мы не можем непосредственно взаимодействовать и изучаем с помощью телескопов. Современная наука много сделала для изучения ми-

кро- и макромира, но самый доступный для изучения и взаимодействия – это человекоразмерный мир. Люди непосредственно в нем живут и развивают своей активностью, своей деятельностью. Возникает вопрос, насколько выявленные в человекоразмерном мире закономерности будут действовать в микро- и макромире или эти закономерности будут другими.

Самая древняя книга – это китайская Книга перемен, которая утверждает, что мир непрерывно меняется. Каждый человек видит это за время своей жизни – с осознаваемого детства до глубокого возраста перемены остаются в его памяти. В обобщенном виде факт непрерывного изменения человекоразмерного мира отражается в понятии глобального социокультурного цикла, складывающегося из отдельных частных циклов. Во-первых, это большие циклы отдельных стран, потому что а) главный обмен информацией в стране идет с использованием национального языка и б) каждая страна стремится развить свою промышленность и сельское хозяйство таким образом, чтобы максимально удовлетворить потребности своих граждан. При этом необходимо учитывать и внешнюю торговлю, и обмен информацией и людьми с другими странами. Во-вторых, большие циклы распадаются на отдельные циклы, например циклы печатных, музыкальных, изобразительных и т. д. сообщений, которые имеют свою специфику.

Роль культуры состоит в том, что она дает человеку «экран понятий» [11], на который он проецирует и с которым сопоставляет свое восприятие внешнего мира. Современный человек открывает для себя окружающий мир как с помощью системы образования, так и по законам случая, в процессе проб и ошибок. Совокупность его знаний определяется статистически, он черпает их из жизни, газет, телевидения, сведений, добытых по мере надобности (рис. 1.2). Лишь накопив определенный объем информации, он начинает обнаруживать скрытые в ней структуры. Экран знаний формировался по-разному. Классический широко пользовался логической дедукцией и приемами формальных рассуждений и напоминал хорошо организованную решетку. В наше время фактура экрана знаний иная – он все больше похож на волокнистое образование, знания складываются из разрозненных обрывков, связанных простыми, чисто случайными отношениями близости по времени усвоения, по созвучию или ассоциации идей. Эти обрывки не образуют регулярной структуры, но она обладает силой сцепления, которая не хуже старых логических связей придает экрану культуры плотность не

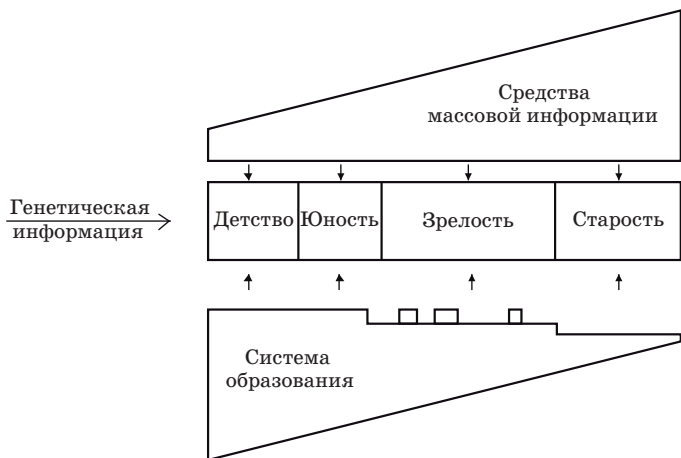


Рис. 1.2. Человек под воздействием системы образования и средств массовой информации на протяжении всего жизненного цикла

меньшую, чем у традиционной структуры. Такую культуры называют мозаичной.

В настоящее время основой социокультурного цикла являются вычислительные системы и сети, которые пронизывают все частные циклы и оплели паутиной весь земной шар, благодаря чему сформировался глобальный сетевой человекомашинный гибридный интеллект (рис. 1.3).

Анализ процессов глобального социально-культурного цикла выявил большую степень неравенства между различными социаль-

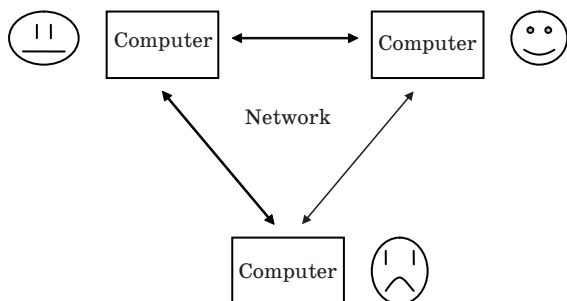


Рис. 1.3. Вычислительная сеть и пользователи, сетевой человекомашинный интеллект

ными группами. По методике ООН вычисляют, какой доход приходится на каждые 20% населения. На рис. 1.4 представлено сложившееся распределения дохода, откуда следует, что 20% самых богатых людей получают свыше 80% доходов, а 20% самых бедных – 1,4% доходов, что несправедливо и ведет к росту напряженности во взаимоотношениях между различными социальными группами людей. Очевидная неустойчивость «рюмки доходов» ведет к росту катаклизмов в мировом сообществе. При социализме в СССР тако-

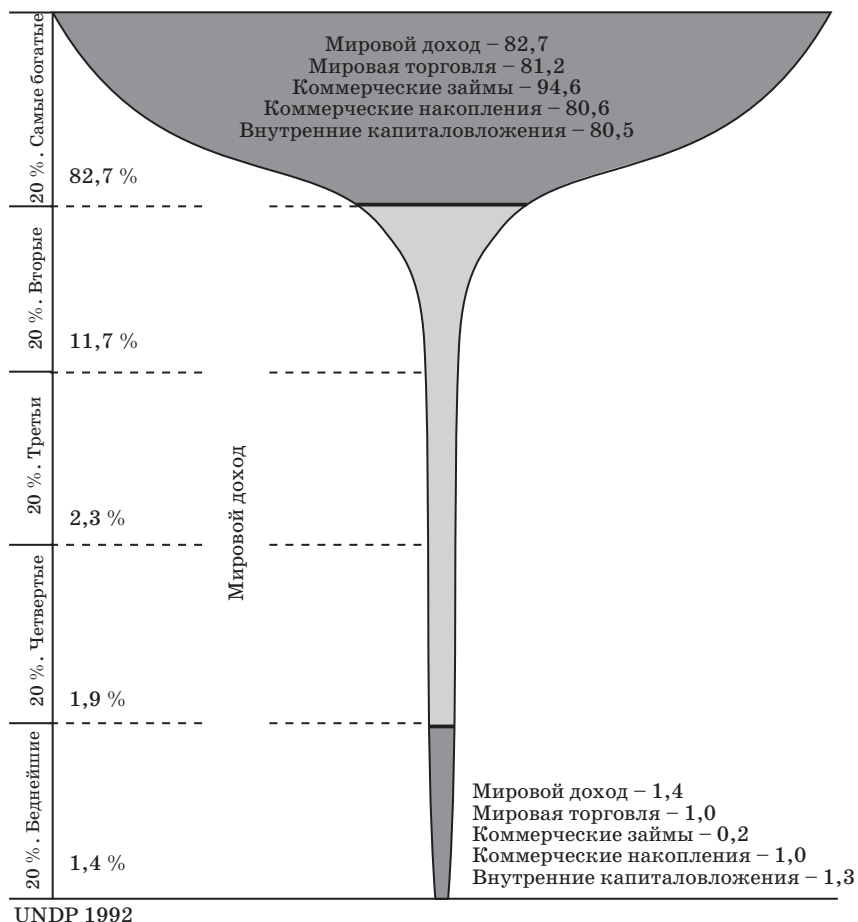


Рис. 1.4. Распределение доходов и экономическое неравенство в мире (по данным ООН за 1992 г.)

го неравенства не было. Концепция устойчивого развития призвана смягчить это противоречие.

В настоящее время слова «система» и «системный подход» широко используются во всех сферах деятельности и именно поэтому нуждаются в уточнении. Существует несколько десятков определенных понятий «система», со временем оно изменялось не только по форме, но и по содержанию [2, 6].

«Системой называется целостная совокупность элементов, в которой все элементы настолько тесно связаны между собой, что она выступает по отношению к другим системам и окружающей среде как нечто единое», – мы будем пользоваться этим определением.

С понятием «система» часто связывают понятие «цель». Использование слова «цель» в случае нефинальных инструкций не совсем корректно, здесь правильнее говорить не о конечных целях, а о принципах поведения, выраженных в императивах, как показал И. Кант. Для живой системы таким категорическим императивом будет сохранение жизни во что бы то ни стало и при любых обстоятельствах. Выигрыш при этом невозможен, проигрыш недопустим, а вся деятельность направлена на то, чтобы «игра в жизнь» продолжалась как можно дольше.

Императив в лингвистике – повелительное наклонение глагола (посмотрите, отойдите и т. д.). Междометный императив – разряд глагольных слов с повелительно-восклицательным значением (вон!, прочь!, долой!). Императивная норма, норма права – установленное государством общеобязательное правило общественного поведения.

Гораздо лучше эта картина описывается так называемым странным аттрактором, в случае которого и процесс, и положительная обратная связь удерживаются не в пространстве одного параметра, а в некоторой зоне многомерного фазового пространства, как показал И. Пригожин. Происходит как бы притяжение параметров процесса к центру или центрам аттрактора, но в силу инерционных эффектов возникают сложные движения вокруг него (в одномерном случае – знакомые инженерам автоколебания).

В процессе непрерывной погони за выживанием изменяются свойства живой системы и среды ее существования, и поэтому система оказывается в каждый данный момент времени в новой ситуации, в новом месте многомерного фазового пространства внешних и внутренних параметров где требуются соответственно и новые специфические действия, обеспечивающие поддержание процесса

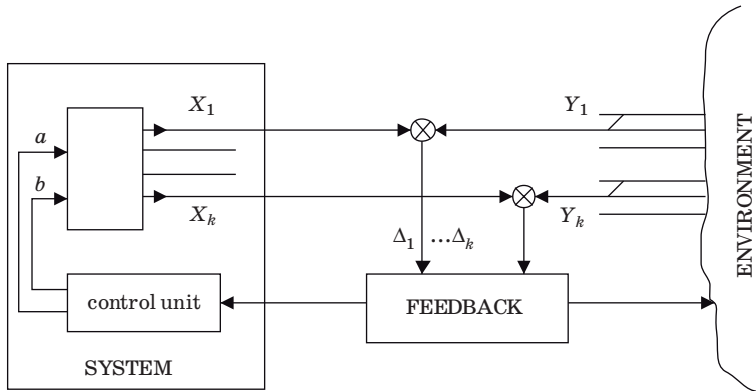


Рис. 1.5. Модель среда – система

жизни (рис. 1.5). С такими действиями могут быть связаны временные цели, которые часто перестают быть актуальными еще до того, как они оказываются достигнутыми (императив сохранения жизни важнее частных целей).

Во второй половине XIX в. началось проникновение понятия «система» в различные области конкретно-научного знания, важное значение имело создание эволюционной теории Ч. Дарвина, теории относительности, квантовой физики, структурной лингвистики и др. Многие конкретно-научные принципы анализа систем были сформулированы в тектологии А. А. Богданова, в праксеологии Т. Котарбинского, в работах В. И. Вернадского и др. Предложенная в конце 40-х гг. XX в. Л. Бергаланфи программа построения «общей теории систем» явилась одной из первых попыток обобщенного анализа системной проблематики. При определении понятия системы необходимо учитывать теснейшую взаимосвязь его с понятиями целостности, структуры, связи, элемента, отношения, подсистемы, иерархии и др.

В конце 80-х гг. Пер Бак и его коллеги предложили теорию самоорганизованной критичности, где в качестве иллюстрации выступает куча песка. По мере того как добавляется песок на верх кучи, она приближается к тому, что Бак называет критическим состоянием, при котором даже одна дополнительная песчинка, опущенная на верх кучи, может вызвать лавину по бокам. Если исследовать размер и частоту лавин, происходящих в этом критическом состоянии, то результаты соответствуют степенному закону – частота ла-

вин обратно пропорциональна некоторой степени размера кучи. Эта теория произвела большое впечатление на вице-президента США Э. Гора, который утверждал, что самоорганизованная критичность помогла ему понять не только чувствительность окружения к потенциальным подрывам, но также изменения в его собственной жизни. Но некоторые исследователи из Чикагского университета считают, что модель Бака не дает даже хорошего описания его парадигматической системы – кучи песка. Их эксперименты показали, что кучи песка ведут себя совершенно по-разному в зависимости от размера и формы песчинок. Поведение лишь очень немногих куч соответствует степенному закону, предсказанному Баком.

По этому поводу следует заметить, что куча песка – это куча жестких песчинок, и сколько бы мы не добавляли песчинок в эту кучу, она так и останется кучей песка, качественного перехода не произойдет. Другое дело, если бы мы взяли муравьев, к одному муравью добавили второго, третьего и так далее – мы бы получили качественное изменение – муравейник, живую организацию, а не мертвую кучу песка.

Со времен В. Л. Канторовича ученые в области экономики внесли большой вклад в изучение сложных систем, что отразилось и в получении Нобелевских премий по экономике:

1969 – Тинберген и Фриш «за создание и применение динамических моделей к анализу экономических процессов»;

1970 – П. Сэмюэлсона «за научную работу, развившую статистическую и динамическую экономическую теорию и внесшую вклад в повышение общего уровня анализа в области экономической науки»;

1971 – С. Кузнец «за эмпирически обоснованное толкование экономического роста, которое привело к новому, более глубокому пониманию как экономической и социальной структуры, так и процесса развития»;

1972 – Дж. Хикс и К. Эрроу «за новаторский вклад в общую теорию равновесия и теорию благосостояния»;

1973 – В. Леонтьев «за развитие метода затраты – выпуск и за его применение к важным экономическим проблемам»;

1974 – Г. Мюрдаль и Ф. фон Хайек «за основополагающие работы по теории денег и экономических колебаний и глубокий анализ взаимозависимости экономических, социальных и институциональных причин»;

1975 – Л. В. Канторович и Т. Кумпанс «за вклад в теорию оптимального распределения ресурсов»;

1976 – М. Фидмен «за достижения в области анализа потребления, истории денежного обращения и разработки монетарной теории, а также за практический показ сложности политики экономической стабилизации»;

1977 – Дж. Мид и Б. Улин «за первопроходческий вклад в теорию международной торговли и международного движения капитала»;

1978 – Г. Саймон «за новаторские исследования процесса принятия решений в рамках экономических организаций»;

1979 – А. Льюис и Т. Шульц «за новаторские исследования экономического развития ... в приложении к проблемам развивающихся стран»;

1980 – Л. Клейн «за создание экономических моделей и их применение к анализу колебаний экономики и экономической политики»;

1981 – Дж. Тобин «за анализ состояния финансовых рынков и их влияния на политику принятия решений в области расходов, на положение с безработицей, производством и ценами»;

1982 – Дж. Стиглер «за новаторские исследования промышленных структур, функционирования рынков, причин и результатов государственного регулирования»;

1983 – Дж. Дебре «за вклад в наше понимание теории общего равновесия и условий, при которых общее равновесие существует в некоторой абстрактной экономике»;

1984 – Р. Стоун «за разработку инструментария циклического и структурного анализа»;

1985 – Ф. Модильяни «за анализ поведения людей в отношении сбережений»;

1986 – Дж. Бьюкенен «за исследование договорных и конституционных основ принятия экологических и политических решений»;

1987 – Р. М. Солоу – теория роста, экономическая эволюция, теория денег;

1988 – М. Алле – решал проблему, как добиться наивысшей экономической эффективности при таком распределении дохода, который был бы приемлем для всего общества;

1989 – Т. Ховельмо – эконометрика и процветающее государство;

1990 – Г. Марковиц, М. Миллер, У. Шарп – основы портфельной теории, неопределенность;

1991 – Р. Коуз – институциональная структура производства;
1992 – Г. С. Беккер – утверждает, что в основе поведения личности лежит не узкий эгоизм, а более широкий спектр ценностей и предпочтений. Трактакт о семье;
1993 – А. Сен – концепция рыночного социализма;
2005 – Т. Шеллинг и Р. Ауманн «за применение теретико-игровых методов в экономике и конфликтологии»;
К сожалению, в работах этих видных экономистов не учитывалось наличие идей С. А. Подолинского.

1.6. Трудиться – значит улавливать потоки энергии (работы С. А. Подолинского)

«Сергей Андреевич Подолинский жил в XIX в. Но только сейчас, на «переломе» последних двух веков, XX и XXI, мы узнали о нем и о его уникальных идеях. Физик, математик, врач Сергей Подолинский – блестяще образованный ученый с особым междисциплинарным мышлением аналитика – познакомил Карла Маркса со своими научными выкладками. И «коммунист № 1», по достоинству оценив открытие своего молодого друга, отставил работу над 4-м томом «Капитала», а 2-й и 3-й тома запретил публиковать (Энгельс не выполнил его посмертное желание).

Работа Сергея Андреевича, которая произвела такое впечатление на К. Маркса, называется «Труд человека и его отношение к распределению энергии». Эту научную работу, вероятно, как идеологически опасную, законсервировали в закрытом фонде «Ленинки» на многие десятки лет, и только не так давно появилась возможность ознакомиться и применить в жизни поистине революционные идеи Подолинского.

Обосновывая их, молодой ученый опирался на глубокое знание основного закона мироздания – «гармоничное единство множества противоположных начал». В концепции Подолинского рассматривается «трудовой энергетизм». В концепции марксистов – «абстрактный труд», приносящий прибыль капиталистам. Маркс, ознакомившись с работой русского ученого, сразу уловил эту разницу, заключающуюся в ином подходе к пониманию роли экономики: политэкономии и социальной экономики.

Политэкономия связана со стихийным рынком, это «искусство добывать» высокую прибыль в интересах капитала. А социальная

экономика работает в интересах человека, семьи, всего гражданского общества. Сергей Подолинский глубоко и всесторонне изучил главную категорию этого звена экономики – труд. Он показал, что в природе нет «абстрактного труда», а есть труд конкретный – как разумная целенаправленная деятельность человека по «накоплению энергии» путем производства механической и любой другой работы.

Сергей Андреевич Подолинский настолько своим открытием опередил время, что, подобно Н. И. Лобачевскому, не дожидаясь его признания. В 1880 г., когда он опубликовал свой выдающийся научный труд в различных изданиях социалистов на многих языках, ему было только 30 лет! В том же году ученый послал свою статью на французском языке К. Марксу и получил от него теплый, доброжелательный отзыв. А вот как его «Труд...» оценил Энгельс: «Подолинский отклонился в сторону..., ибо хотел найти новое естественнонаучное доказательство правильности социализма и потому смешал физическое с экономическим». Предполагается, что роковую роль в преждевременной кончине Подолинского сыграла в значительной степени эта отрицательная оценка его работы. Она стала известна широким кругам европейских ученых, которые либо пытались не заметить творческой и признанной удачи автора, либо вообще «скрыть» труд от общественности. Молодой гений России с могучим исследовательским потенциалом скончался в 1891 г.

И Маркс, и Подолинский понимали человеческий труд как физическую работу. Основными орудиями его являются руки и ноги человека. Но главнейшее орудие, или движитель труда – разум, интеллект, ум. Также оба ученых прекрасно знали о главном принципе природы, который неотъемлем для всех сфер жизнедеятельности человека, – это гармоничное сопряжение в единстве бесчисленного множества противоположных начал. Но Маркс его интерпретировал так: закон единства и борьбы противоположностей до полного конца. Однако известно, что все люди по своей физико-биологической и психической природе не равны, а равны они лишь в социальном плане по затратам своего труда.

Сергей Подолинский в своей работе гениально просто и убедительно раскрыл природу и социальную сущность человеческого труда, способного объединить всех людей по вселенскому закону гармонии.

Начнем с того пункта, который принимается сразу: все хотят увеличить темп роста производства для того, чтобы получать при-

быль. Эта прибыль, выраженная языком физиков (если использовать терминологию знаменитого второго принципа термодинамики), есть излишек над «кажущимся коэффициентом полезного действия в сто процентов»! Однако каждый из нас из школьного курса физики знает, что этого не может быть никогда, так как известно, что КПД всегда не превышает 100%. А излишек свыше 100% – это из области фантастики! Но можно дать исчерпывающее объяснение такому поразительному факту.

Известно, что к социализму ведут два пути. Первый путь – это идея об «обездоленных пролетариях, которым нечего терять, кроме своих цепей»; второй же указывают бесстрашные ученые-теоретики, которые открывают объективный закон исторического развития человечества, пробираясь сквозь хаос кажущихся блужданий. Яркий тому пример – открытие С. А. Подолинского, изучавшего вопрос: может ли существовать такой класс процессов природы, который характеризуется высоким КПД? Этот русский ученый еще в 1880 г. ответил: «Да!» И этот процесс – человеческий труд! Изучив очень тщательно «Капитал» Маркса, Сергей Андреевич поставил перед собой сверхзадачу – найти естественнонаучные основы социализма.

Теперь легко понять, что человеческий труд есть особенный процесс природы, который можно считать усилителем мощности. Само собой разумеется, что для «усиления» мощности на самом деле необходимо «улавливать» тот или иной поток энергии. Одним из самых простых примеров «улавливания» потока энергии является фотосинтез – он обеспечивает рост растений.

Эффект усиления мощности «бьет» нам в глаза в условиях сельскохозяйственного производства. Затраты энергии крестьянина на вспашку, посев, уход за урожаем, уборку, молотьбу и помол в общей сложности меньше, чем тот запас энергии, который (под влиянием солнечного света) накоплен в зерне получаемого урожая. То есть к мощности земледельца добавляется еще и мощность энергии солнечных лучей, которые используются растениями. Всего лишь часть суммы этих мощностей вполне достаточна для выполнения всех работ будущего года, а излишек (он-то и делает большим коэффициент полезного действия) образует субстанцию «прибавочного продукта». Отсюда суть физической природы «прибавочного продукта». Своим трудом, поскольку труд фиксирует солнечную теплоту, человеку удается соединить естественные функции потребляющего энергию животного и накапливающего энергию растения.

Этот подход Подолинского пригоден для всех общественных явлений, для любого производства, не только сельскохозяйственного. Обратимся к простейшему механизму – парусу. Он экономит мускульную силу гребцов – физиологический источник мощности, заменяющий эту мощность на улавливаемый поток энергии ветра.

До сих пор шли рассуждения о физическом труде. Но если попытаться понять специфику умственного труда через закон Подолинского, то откроется любопытная картина. Вспомним, каким образом сделал свое гениальное открытие Б. И. Менделеев – его «периодическая таблица» приснилась ему во сне. Однако не надо забывать, что ученый почти два десятка лет сосредоточенно работал над проблемой систематизации химических элементов. Все эти годы он «улавливал» потоки необходимой информации, обрабатывал их и в результате, как тот крестьянин, получил богатый «урожай»!..

Захватывает дух от бесконечной перспективы, которая разворачивается перед человеком через постижение и последующее применение открытия Подолинского. Естественнаучная природа труда открывает новое понимание производимой людьми всякой работы. И становится понятным, что труд – это не только «отец богатства», но главное и основное – источник жизни, продлевающий ее годы. Работающий – физически и умственно – человек захватывает и использует энергоинформационные потоки Вселенной, напитываясь ее мощностью. Трудящийся человек – «накопительный и хранительный резервуар энергии» на Земле. Такие «резервуары» необходимы планете, и чем их больше, тем здоровее Земля. Поэтому, естественно, она будет покровительствовать им и в то же время освобождаться от непригодных «оболочек» – людей, предпочитающих пустое времяпрепровождение.

Получение знаний, учеба – это тоже категория труда, причем одна из наиважнейших. Человек, прекративший улавливать потоки энергии познания бытия (всевозможных его форм), входит в ступор инволюции. Во Вселенной нет покоя, есть только эволюция и инволюция – движение вперед и сползание назад, созидание и разрушение. И всякий труд, если он не сопряжен с накоплением новых знаний, в любом случае недополучает часть своей мощности.

Думается, что «законсервировали» труд Сергея Подолинского на долгие годы не большевики, а само время, потому что в период его написания вряд ли современники смогли бы по достоинству оценить это гениальное открытие (разве что титан мысли Маркс).

А заговорили в России об идеях Сергея Андреевича теперь, в разгар стихийного рынка, когда значимость человеческого труда как главной нравственной и экономической категории жизни человека необоснованно чрезвычайно занижена. Все кинулись накапливать богатство в виде денежного капитала и частной собственности, не давая себе отчет, что это прах – сейчас она есть, а завтра?.. Также человек не в состоянии забрать с собой в иную реальность «сколоченный» за жизнь капитал ... А вот применять везде и всюду, самое главное, накапливать на Земле знания, опыт, навыки ему, что называется, сам Бог велел!

Кстати, первым, кто применил в жизни гениальное обобщение Сергея Подолинского, был, как ни странно, В. И. Ленин. Он довольно скоро сделал вывод, что диктатура пролетариата – авторитарный режим, который приведет к абсолютной дисгармонии, и предложил признать равноправие всех видов и форм собственности на трудовой основе. Отсюда фантастический по тем временам вывод: капиталистов не «уничтожать», а учиться у них менеджменту. К чему это привело? За исторически короткий срок в России была создана научно обоснованная, мобильная социально-экономическая модель в жесткой увязке с национальными, геополитическими и оборонными интересами страны с превалированием государственной, коллективной и личной собственности граждан.

На основе научной работы Сергея Подолинского разработал свою научно-практическую концепцию крупнейший отечественный мыслитель В. И. Вернадский.

Два вопроса естественнонаучного знания – проблема жизни и проблема второго закона термодинамики (грубо говоря, проблема смерти) – в действительности есть разные стороны одной и той же задачи целостного понимания сущности жизни как формы движения, в которой излученная, рассеянная теплота (или сила жизни) имеет возможность снова сосредоточиться и начать активно функционировать. Это очень важно понять.

В учении В. И. Вернадского о биосфере рассматриваются все формы жизни в их взаимной связи. «Живое вещество» Вернадского – не тело, а процесс! И только для этого процесса как целого и может быть установлен тот «особенный» обмен веществ, а именно «обмен веществ в живой природе», который отличается от «обмена веществ в неживой природе».

В. И. Вернадский в учении о живом веществе, или биосфере, исследовал природный механизм накопления свободной энергии

в биосфере, а процесс активного функционирования концентрированной энергии под влиянием трудовой деятельности человека изложен им в учении о ноосфере. Таким образом, Вернадский – блестящий знаток работ Подолинского – успешно завершил его дело....

...Как только мы начинаем рассуждать об управлении потоками энергии, так сразу исчезают все трудности – поток энергии, захватываемый тем или иным «устройством» (будь то парус или мысль человека), и есть «сила природы», поставленная на службу человека. Многополярный мир через сопряжение этих энергетических потоков приходит к гармоничной полифонии бытия. Тогда и лозунг социализма «Пролетарии всех стран, объединяйтесь!» воспринимается совершенно иначе с позиций «закона Подолинского». Из формы абстрактного объединения по «внешнему признаку» он трансформируется в призыв к наукотворческой гармонии в осуществлении социальной и экономической стабильности в каждой отдельной стране и в мире в целом. И здесь во всем блеске своего совершенства видится ноосферное величие жизни единого человеческого сообщества.

Научная работа Сергея Подолинского при вдумчивом прочтении и обстоятельном изучении дает очень многое понять и оценить, и в первую очередь то, что именно труд есть благородная первооснова, на которой зиждется все бытие человека, как современного, так и будущего, не ограничивающего себя рамками лишь одного земного воплощения. Человек должен, наконец, понять, что с собой в следующие жизни он может забрать единственное истинное сокровище – знания и опыт, которые успел накопить за краткий миг нынешнего воплощения на Земле».

(Авилова О. Н. С. А. Подолинский // Тр. Междунар. университета природы, общества и человека. Дубна, 2010. С. 70–75.)

1.7. Автоматизация и сложность

Автоматизация – это уменьшение потока информации от человека к машине при выполнении тех или иных заданий [15]. Если рассмотреть программное управление станками, то это переход от точечного управления к контурному, когда мы задаем лишь коэффициенты уравнения кривой – contour control. Далее, так как кривые расположены на поверхности, дальнейшее сжатие инфор-

мации произойдет при задании поверхности, на которой расположены кривые траекторий; такое управление называется поверхностным – surface control.

Поскольку поверхности образуют объем, то следующее сокращение количества информации – это переход к заданию объема – volume control.

Если точка – это многообразие нулевой размерности, то кривая – это одномерное многообразие, поверхность – двумерное, объем – трехмерное и так далее, т. е. автоматизацию мы можем определить как переход к формулировке заданий для машины в виде многообразий со все большим числом измерений. При этом происходит уменьшение потока информации от человека к машине.

Для автоматизации необходим анализ структуры деятельности в самых различных сферах, он необходим для автоматизации производства, проектирования и исследований.

Задача рационализации труда рабочего всегда стояла перед организаторами производства [16–18]. В 20-е гг. на заводах Форда в США инженер Гилбрет предложил систему микроэлементов для описания движений рабочего, который выполнял различные операции на производстве. Система этих микроэлементов – терблигов – явилась примером структурного подхода к анализу деятельности рабочего и послужила основой для целого ряда других систем описания и нормирования труда. Все микроэлементы делятся на приноровительные и решительные, что определяется состоянием технологической среды. С помощью приноровительных движений как бы ощупывается, изучается рабочая среда, получается информация для движений решительных. В результате сложилась следующая система микроэлементов: 1) ИСКАТЬ; 2) НАЙТИ; 3) ВЫБРАТЬ; 4) ПРОТЯНУТЬ РУКУ; 5) ПЕРЕМЕСТИТЬ РУКУ С ГРУЗОМ; 6) НАЖАТЬ; 7) РАЗЪЕДИНИТЬ; 8) ПРИВЕСТИ В НУЖНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ (ПОВЕРНУТЬ); 9) ПОВЕРНУТЬ РУКОЯТКУ; 10) ВЗЯТЬ; 11) СОЕДИНИТЬ; 12) УСТАНОВИТЬ; 13) ДЕРЖАТЬ; 14) ОТПУСТИТЬ (ГРУЗ); 15) ОБРАБОТАТЬ; 16) ПРОВЕРИТЬ.

Итак, была создана система из 16 микроэлементов, рабочие на конвейере были обучены четко их выполнять, производительность труда повысилась в несколько раз, родилась потогонная система, которая послужила основой для кинофильма Чарли Чаплина «Огни большого города». В настоящее время система микроэлементов является основой программирования роботов для автоматизации производства, разработаны языки: LAROT – для программирования

роботизированного производства, LADET – для программирования проектирования, LASCIT – для автоматизации научных исследований, – что позволяет осуществить компьютеризацию всего цикла – от научных исследований до производства через проектирование.

В 1928 г. профессор Ленинградского университета В. Я. Пропп опубликовал книгу «Морфология сказки», в которой открыл неизвестные дотолде науке структурные закономерности волшебной сказки, важные не только для исследования фольклора, но и для программирования. Он исходил из понимания волшебной сказки как проявления творчества коллективного, обладающего специфическими особенностями. Специфику он усматривал в повторяемости, типовой устойчивости сказочного повествования, сказочной сюжетной структуры. Результаты исследований Проппа в настоящее время формулируются в виде трех постулатов:

1) постоянными, устойчивыми элементами сказки служат функции действующих лиц независимо от того, как и кем они выполняются. Они образуют основные составные части сказки;

2) число функций в волшебных сказках ограничено (В. Пропп выявил 31 функцию);

3) последовательность функций всегда одинакова.

Эти постулаты основываются на идее выделения конституирующих элементов определенной знаковой системы, непосредственно надстраивающейся над естественным языком. Теория Проппа может рассматриваться как один из способов порождения с помощью формальных средств литературного произведения. Ей предшествовали принципы искусственного формирования связных текстов, исходящие из работ Раймунда Луллия (1235–1315) и четко сформулированные в сатирическом описании Свифтом, где на основе перебора порождаются осмысленные предложения. Рассматриваются способы сокращения перебора.

Традиционная волшебная сказка состоит из трех частей: экспозиции – начальной части сказки, тела сказки и завершающей части – постпозиции.

Для сказок характерна почти неизменная типология действующих лиц – герой, антигерой, прорицатель, даритель, помощник, антипомощник, награда, глупец, антидаритель. Действующие лица делятся на две партии – партия героя (герой, даритель, помощник), партия антигероя (антигерой, антипомощник, антидаритель). Вне партий остаются прорицатели, роль которых сводится к сообщению герою или антигерою некоторой информации, необходимой для раз-

вития сюжета, награда – обычно царевна или принцесса, которой добиваются герой и антигерой, и глупцы, как правило, мешающие герою или оттеняющие своими неудачами успехи героя.

Например, список антигероев может содержать такие их воплощения как злой колдун, Баба-яга, Кощей Бессмертный и др., а список помощников может содержать такие их воплощения как Сивка-Бурка, волк, орел, заяц, щука и др.

Ограниченность и традиционность сказки позволяют строить компьютерный генератор сказочных сюжетов и в виде текстов, и в виде изображений с музыкальным сопровождением. Гораздо сложнее обстоит дело с созданием генераторов других текстов.

После выхода постановления ГКНТ СССР в 1972 г. о развертывании работ по робототехнике, возникли задачи по описанию действия коллективов роботов, по программированию их коллективных действий. К этой работе на договорных началах были привлечены и Тартуский университет (кафедра профессора Ю. М. Лотмана), и Ленинградский педагогический институт им. А. И. Герцена (кафедра профессора Б. Ф. Егорова), и Ленинградский институт авиационного приборостроения (кафедра профессора М. Б. Игнатьева). Был осуществлен структурный анализ так называемых служебных романов и выявлены 25 функций действующих лиц [17]:

- 1) препятствие – существование объективного препятствия для действующего исполнителя – администратора, агента;
- 2) запрет – запрещение каким-либо администратором каких-либо мероприятий;
- 3) нарушение запрета, которое может быть целенаправленным или нецеленаправленным;
- 4) преодоление препятствия;
- 5) вредительство, целенаправленное нанесение вреда;
- 6) устранение противника;
- 7) выведывание, сбор информации без разрешения соответствующего администратора;
- 8) обман, сознательная передача каким-либо администратором ложной информации;
- 9) совершение ошибки;
- 10) выбор, когда администратор выбирает между двумя или несколькими возможностями;
- 11) подчинение, когда один администратор подчиняется другому администратору, или условиям, или обстоятельствам;

- 12) дача обещаний, когда один администратор дает обещание сделать что-либо;
- 13) требование, настояние – функция, противоположная запрету;
- 14) соблазн или устрашение;
- 15) обмен услугами, такой вид помощи, в котором заинтересованы обе стороны;
- 16) арбитраж, когда какой-либо третий администратор по отношению к конфликтующим сторонам призывается к установлению истины;
- 17) поиск, разыскание соответствующего администратора или информации;
- 18) перемена – изменение места деятельности или служебного положения администратора;
- 19) уход – выбывание администратора из информационно-вычислительной системы;
- 20) премия или штраф;
- 21) помощь, когда какому-либо администратору оказывается помощь;
- 22) единомыслие, коллективная функция, когда проявляется единство позиции двух или нескольких администраторов в решении определенных вопросов;
- 23) единство действий, когда два или несколько администраторов осуществляют какое-либо дело совместно;
- 24) соперничество;
- 25) достижение искомого.

Понятие исполнителя – администратора – было введено при рассмотрении многопроцессорных систем еще в 70-е гг., задолго до появления теории агентов и многоагентных систем. В настоящее время вычислительные системы – это мощные человекомашинные системы, которые объединяют людей-пользователей разного уровня через компьютеры и сети, сложилась мощная система гибридного интеллекта, где вышеупомянутые функции осуществляются. В результате образовались различные структуры в масштабе всего земного шара – это конфликтующие структуры в сфере финансов, торговли, транспорта, массовой информации и др., объединенные глобальным социокультурным циклом.

В искусстве сложилось своеобразное представление о времени и пространстве, о других фундаментальных понятиях. Каковы базовые понятия искусства? Чем они отличаются от таких же базовых понятий в науке? В технике? В физике? В биологии? В истории?

Главное в искусстве – это создание виртуальных миров и погружение в эти миры человека. Как эти виртуальные миры строились у древних греков? У Шекспира? В японском искусстве? В русской литературе XIX в. и сейчас?

Понятие эксперимента предполагает наличие теории. Без теории нет эксперимента, есть только наблюдение. С кибернетической (системной) точки зрения эксперимент – это управляемое наблюдение. Управляющей системой является научный метод, который, опираясь на теорию, диктует постановку эксперимента. Переход от простого наблюдения к эксперименту есть метасистемный переход в сфере опыта. Человек, решая различные задачи и имея перед собой какой-то план действий и модель среды из своего прошлого опыта, целенаправленно использует информацию, которая ему доставляется с помощью различных органов чувств. Структура виртуального мира задает как бы теорию для различных экспериментов. Человек не просто созерцает и наблюдает, он ставит эксперименты, которые без целостного представления о мире не дают результатов.

Возможны различные структуры виртуальных миров. Во-первых, их можно разделить на две группы – в первой группе может работать представление о времени, о прошлом, настоящем и будущем, в этой группе в принципе невозможно предсказывать будущее. Во второй группе миров представление о времени не работает, это как бы склад различных событий, из которых, как из конструктора, можно собирать различные картины мира, здесь возможно предсказание будущих событий – их нужно просто отыскать в этом банке данных. Компьютерные устройства памяти хорошо моделируют эту структуру виртуальных миров.

Но существуют виртуальные миры третьего типа с совершенно другой физикой, чем в нашем реальном мире. Эти три типа виртуальных миров взаимодействуют между собой, обмениваясь информацией, энергией и веществом. Существуют ли реально эти три типа миров? Это большой фундаментальный вопрос. Происходит много аномальных событий, объяснение происхождения которых нет в рамках существующих физических представлений, но можно их объяснить в рамках гипотезы о существовании трех миров.

Важным положением является утверждение, что естественный язык – это мощная моделирующая система, при этом нужно рассматривать весь объем текстов, накопленных человечеством [42, 24, 32], который непрерывно пополняется данными экспериментов

и наблюдений, новыми открытиями и изобретениями, новыми литературными произведениями и т. д. В естественном языке появляются новые слова, другие слова уходят из обихода. Система основных концептуальных положений, характеризующих определенный этап миропонимания, изменяется. Мироззрение обычно считается уделом философов. Предполагается, что наука о Природе – это физика. Если принять, что ничего, кроме Природы, не существует, то, казалось бы, физики и должны сформулировать миропонимание, исходя из добытых ими эмпирических данных. Однако современный уровень развития физики не позволяет понять множество загадок Природы. Это было ярко продемонстрировано в процессе Бостонской дискуссии в 1996 г. на представительном симпозиуме в Бостонском университете, посвященном концептуальным основаниям квантовой теории поля. (Conceptual Foundation of Quantum Field Theory/ Ed. Tian Yu Cao. Cambridge University Press, 1999; Исаев П. С., Мамчур Е. А. Бостонская дискуссия // Успехи физических наук. 2000. № 172. С. 977–993). Науки подразделяются на естественные и гуманитарные, и все попытки сформулировать единое миропонимание, опираясь только на естественные науки, обречены на провал. Все – и представители естественных, и представители гуманитарных наук пользуются естественным языком для выражения своих мыслей. Поэтому в основу построения картины мира можно положить лингво-комбинаторное моделирование, разработка которого является самым ярким результатом артоники.

На основе понятия алгоритмической теории информации и понятия колмогоровской сложности сформулировано понятие *теории* – теория, взятая в качестве объяснения, является удачной только до такой степени, до которой она сжимает количество двоичных цифр, содержащихся в представлении фактов, в намного меньшее количество двоичных цифр, содержащихся в представлении теории. В некотором смысле понимание является сжатием, постижение есть сжатие! Чейтин в 1975 г. дал определение: бесконечная последовательность символов является случайной, если сложность, связанная с объемом программы для продуцирования некоторого начального отрезка последовательности, имеющего длину n , не может быть сделана как угодно меньше n .

Кибернетика, информатика и системика в единстве влияют на развитие всех других наук: физики, химии, биологии, социологии, экономики, лингвистики. Призрак бродит по миру, призрак самоорганизации. Все говорят о самоорганизации – от самоорганизации

отдельного человека, семьи, предприятия, города, региона, страны вплоть до всего мира. С целью обеспечить мир без войн была создана Организация Объединенных Наций после разрушительной Второй мировой войны, но не все у этой организации получается.

Сразу после возникновения электронных вычислительных машин в конце 40-х гг. XX в. возникли многочисленные дискуссии на тему «может ли машина мыслить?». Эти споры не закончены до сих пор, но они были полезными, так как позволили лучше понять возможности как компьютера, так и человека. В итоге родилось конструктивное понятие гибридного интеллекта, когда объединяются возможности и человека и машины, при этом имеются в виду вычислительные сети, объединяющие множество машин, через терминалы которых осуществляется взаимодействие со множеством людей. Гибридный интеллект чаще называют сетевым человеко-машинным интеллектом, его исследование только начинается.

Предпринимаются попытки объяснить сознание с точки зрения физической теории.

Но, как показал Р. Пенроуз [75], явление сознания не может быть описано в рамках современной физической теории. В конце 40-х гг. XX в. Н. Винер, возродив кибернетику, рассматривал проблемы управления в биологических системах, машинах и обществе и не затрагивал кибернетические подходы к физике. Это привело к тому, что до сих пор существует большой теоретический разрыв между объяснением сознания и физической теорией, хотя, несомненно, достижения физики явились основой создания новой элементной базы для вычислительной и информационной техники.

В настоящее время сформировалась теория сложных систем – Complex Systems Theory. Согласно Аристотелю, сложная система – это система, в которой целое значительно больше суммы составляющих ее частей.

Сложные системы индивидуальны и отличаются друг от друга. Пример сложной системы – человек, каждый человек имеет уникальные генетический паспорт, отпечатки пальцев, психику и т. д. В связи с этим возникает важный вопрос о воспроизводимости опытов со сложными системами. В настоящее время в науке рассматриваются лишь те результаты, которые могут быть повторены, но тем самым за бортом научного рассмотрения оказывается громадная масса данных о плохо воспроизводимых событиях. Одна из причин невозможности получить повторяющийся результат в опыте – это уникальность сложных систем.

1.8. Виртуальные наномиры

Нас окружают различные самоорганизующиеся системы: это и живые организмы, которые рождаются, живут и умирают, это и социально-экономические системы, человекомашинные сложно организованные коллективы, которые тоже рождаются, живут и распадаются. К сожалению, технические системы, искусственно созданные человеком, чаще всего не являются самоорганизующимися, и людям приходится тратить много времени и ресурсов на их создание и программирование. В связи с развитием нанотехнологий во весь рост встает вопрос о создании самоорганизующихся наноструктур, ведь складывать из отдельных атомов и молекул нужные людям объекты оказывается очень трудоемким делом.

Автор еще в 50-е гг. XX в. принимал участие в создании цифровых систем управления металлорежущими станками, и тогда тоже вставала задача уменьшения потока информации от человека к машине при программировании обработки деталей на станках [39]. Самая первая ступень программного управления станками – это точечное управление, когда задаются координаты отдельной точки. Но если таких точек очень много, то встает вопрос об уменьшении их числа. Эту проблему удалось решить путем перехода к контурному управлению, когда задавались параметры линии, которую надо было воспроизвести на станке. Но если таких линий было много, то следующий шаг по сокращению потока информации от человека к машине заключался в переходе к поверхностному управлению, когда задавались параметры поверхности, которую надо было обработать на станке. При обработке сложных штампов нужно было выбрать металл из объемов, и сложилось объемное управление станками, управление на трехмерных многообразиях. В настоящее время станки с программным управлением составляют технологическую основу промышленности, создано много совершенных систем программирования, в которых реализованы и точечное, и контурное, и поверхностное, и объемное управления. Дальнейшее сокращение потока информации от человека к машине было достигнуто за счет внедрения адаптивного управления станками, когда в процессе работы параметры системы станок – инструмент – деталь непрерывно измерялись и в процессе обработки вносились коррективы в программу, что позволило существенно повысить качество обработки и производительность как тех, кто заранее программировал работу станков, так и тех, кто непосредственно работал на станках.

Этот опыт может быть использован и при разработке нанотехнологий. Но самое главное – перейти к созданию самоорганизующихся систем, в этом случае удастся существенно сократить трудозатраты на создание наноструктур. Создаваемые наноструктуры должны выполнять задачи, поставленные людьми. Люди должны иметь возможность осуществлять внешнее управление как в процессе создания наноструктур, так и в процессе их использования. Если в процессе внешнего управления от людей требуется очень много информации, как в случае точечного программного управления, то необходимо искать другие пути создания наноструктур, с более высоким уровнем самоорганизации.

Предшественница нанотехнологий – микроэлектроника, опираясь на которую возникла современная вычислительная техника. Электронные вычислительные машины появились в конце 40 – начале 50-х гг. XX в. сразу в нескольких странах – США, Советском Союзе, Великобритании и др. За прошедшие 50 лет параметры ЭВМ улучшились в миллион раз – увеличилось их быстродействие, выросли объемы памяти, уменьшились габариты и энергопотребление, уменьшилась их стоимость, и сейчас компьютер – это самая распространенная машина в мире, которая эффективно используется во всех сферах человеческой деятельности. Но информатика и вычислительная техника возникли не на пустом месте, а на мощном фундаменте человеческой культуры, науки и техники. Для того чтобы понять феномен возникновения и развития информатики и вычислительной техники и определить их перспективы развития в направлении нанотехнологий, необходимо разобраться в том, что такое сложные системы и как они развиваются во времени и пространстве. Ключевым понятием теории и практики сложных систем является самоорганизация. Дух нашего времени пронизан идеей самоорганизации в самых разных аспектах.

Прежде всего идеей самоорганизации пронизана биология. Эволюция живых организмов – это яркий пример самоорганизации в изменяющихся условиях окружающей среды. Во-вторых, жизнь человеческого общества тоже пронизана идеями самоорганизации, семья, предприятие – это ячейки самоорганизации. Сложился глобальный социокультурный цикл с петлями обратной связи как в области генерации идей, так и в области генерации продуктов промышленности и их потребления. В качестве третьего примера необходимо указать на естественный язык как на сложную самоорганизующуюся систему, которой мы все пользуемся и которая

лежит в основе культуры по всем аспектам. По сути дела, это три основных источника теории самоорганизующихся систем, которая еще только начинает складываться.

Все системы можно разбить на три класса по своим размерам. Во-первых, человекоразмерные системы, наиболее изученные, которые проще всего наблюдать в развитии; в этих системах вопросы управления и информации занимают важное место.

Во-вторых, системы, которые много больше человекоразмерных систем, планетарные системы, звезды и галактики, наблюдаемые людьми издревле; но они гораздо меньше изучены, в существующих моделях этих больших систем нет элементов управления и информатики.

В-третьих, системы, которые гораздо меньше человекоразмерных систем, – микромир, мир атомов и молекул, изучение которого ведется методами атомной физики и нанотехнологий; в моделях этих малых миров опять-таки не используются понятия об управлении и информации.

Таким образом, перед учеными стоит задача распространить идеи управления и информации, идеи самоорганизации и внешнего управления на системы, которые гораздо больше и гораздо меньше человекоразмерных систем, с учетом их специфики. Необходимые и достаточные условия синтеза нанороботов будут сформулированы в гл. 2.

Технология виртуальных миров позволяет сделать реально зримыми самые различные наноструктуры, что важно для их анализа и синтеза. Будущее индустрии представляется в виде небольших фабрик, которые по заказу смогут синтезировать самые различные наноструктуры, из которых можно будет строить человекоразмерные системы. При этом должны быть решены вопросы утилизации уже использованных систем. В настоящее время мы имеем множество свалок, где хранятся отходы, – использованные вещи от упаковок до старых автомобилей, что наносит большой вред экологии. Утилизация этих отходов в настоящее время требует больших трудовых затрат. Новые технологии должны обеспечить малозатратную утилизацию старых вещей.

Наряду с понятием самоорганизации стоит понятие о внешнем управлении той или иной системой. Ведь системы существуют не изолированно друг от друга, они оказывают взаимное влияние. В зависимости от идеологии и экономической и военной мощи отдельные страны навязывают другим линию поведения, которая выгодна

именно им. Биологические системы развиваются на основе генетической информации, которая им передается от родителей. Ребенок с детства подвергается воздействию родителей, они воспитывают и обучают ребенка, оберегают его от опасностей, но постепенно ребенок становится независимым и сам принимает решения.

1.9. Пример системы с внешним управлением (текущие угрозы террористических атак на авиационные системы и их отражение с помощью внешнего управления)

Когда говорят о кибернетических системах, то прежде всего имеют в виду системы управления, где относительно небольшими усилиями можно достичь очень большого эффекта. Когда Норберт Винер говорил о кибернетике, то он имел в виду управление и связь в животном и машинах. В наше время приходится говорить об управлении людьми, манипуляцией сознанием и воздействии на компьютерные системы, которые стали неотъемлемой частью систем управления самых разных объектов. События последних лет показывают, что транспортные средства (ТС) – самолеты, корабли, автомобили – все чаще становятся орудиями совершения террористических актов, поэтому ниже сделан упор на рассмотрение кибернетических атак именно на транспортные системы. В связи с ростом противоречий терроризм стал неотъемлемым элементом картины мира.

Транспортные средства управляются людьми – пилотами, капитанами, водителями, и действующая концепция безопасности базируется на том, что эти люди дорожат своей жизнью и так управляют ТС, чтобы прежде всего самим не пострадать, самим не попадать в экстремальные опасные ситуации. Но террористические акты совершают люди, готовые пожертвовать своей жизнью ради идей, таких людей по мере роста социального неравенства и обострения ситуации становится все больше, что заставляет пересматривать саму концепцию безопасности ТС. В этих условиях возникла идея внешнего управления ТС, которая заключается в том, чтобы при возникновении экстремальной ситуации отключить из контура управления пилота, капитана или водителя (которые могут находиться под контролем злоумышленников) и ввести внешнее управление ТС из специального центра, тем самым не позволив использовать его в качестве опасного оружия [33].

Технической основой для введения внешнего управления является наличие бортовых вычислительных систем, которые уже сейчас выполняют большой объем работ по управлению ТС. Авиационные вычислительные системы решают сложные навигационные задачи, задачи контроля, диагностики и управления всего самолетного оборудования, связи и т. д. В прил. 1 приведены материалы по развитию бортовых вычислительных систем на основе опыта ОКБ «Электроавтоматика». Корабельные вычислительные системы тоже решают множество задач и позволили значительно сократить количество обслуживающего персонала на борту судна за счет автоматизации.

Новые поколения автомобилей тоже снабжены вычислительными системами, которые помогают экономить горючее и повышают безопасность движения. Но внедрение внешнего управления является сложной проблемой, для решения которой нужно решить много задач как технических, так и психологических, и юридических.

Следует заметить, что развитие ТС идет очень быстрыми темпами, транспортные системы наносят большой экологический ущерб планете, в транспортных авариях гибнет много людей, и становится очевидной необходимость пересмотра всей концепции развития ТС и ее объединения с концепцией безопасности. Все ТС должны иметь возможность внешнего управления, что позволит не только повысить безопасность, но и облегчить решение проблем заторов на дорогах и перевозок.

Для того чтобы решить эти проблемы необходимо иметь компьютерную модель всего транспортного пространства, населенную представителями всех ТС – агентами, которые бы полностью отражали местоположение ТС, их характеристики, цели и возможности и т. д., т. е. должен быть построен многопользовательский виртуальный мир. Задача эта непростая, но в наше время достижимая, она может решаться поэтапно, по отдельным регионам, с тем чтобы в будущем охватить всю планету. С помощью многопользовательского виртуального мира можно было бы проигрывать различные варианты решения транспортных задач и выбирать оптимальные, исходя из сложившейся ситуации.

В системе поддержки управленческих (рис. 1.6) решений могут моделироваться сложные ситуации реального транспортного мира в ускоренном режиме в виртуальном транспортном мире и выбираться наилучшие решения [33].

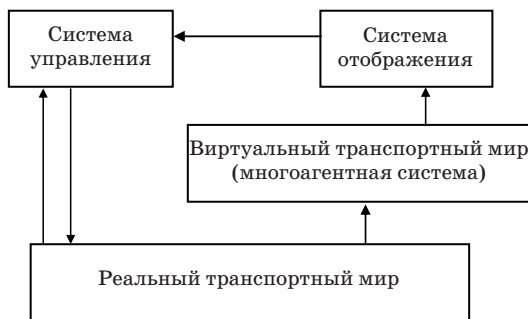


Рис. 1.6. Система поддержки управленческих решений при использовании многоагентной системы, где каждое ТС представлено своим агентом

Планируется участие в разработке ведущих научно-исследовательских, опытно-конструкторских и летно-испытательных организаций авиационной отрасли России, специализирующихся в проектировании, эксплуатации и испытаниях:

- тяжелых и легких, гражданских и боевых летательных аппаратов (ЛА);
- бортовых систем автоматического и штурвального управления ЛА;
- наземных систем управления полетами;
- бортовых и наземных радиосвязных систем,
- и других, имеющих большой творческий потенциал, опыт и научно-технический задел в областях:
 - проектирования, испытаний и эксплуатации ЛА;
 - проектирования и эксплуатации бортовой аппаратуры и программного обеспечения (ПО) для бортовых комплексов гражданских и военных ЛА;
 - системной реализации свойств отказоустойчивости и отказобезопасности комплексов бортового оборудования как эргатических (человекомашинных) систем;
 - разработки и эксплуатации стендов имитационного и полунатурного моделирования;
 - аттестации ЛА, оборудования и ПО;
 - эксплуатации систем управления полетами.

В качестве примера успешного решения аналогичной задачи можно указать на беспилотный полет советского космического самолета «Буран».

Настоящая концепция является результатом предварительной проработки решения задачи защиты от использования террористами ЛА в качестве оружия массового поражения (разрушения) в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения совместно с Санкт-Петербургским опытно-конструкторским бюро «Электроавтоматика» – одной из ведущих фирм авиационной отрасли в области интеграции бортового оборудования всех типов самолетов и вертолетов. На основе предложенной концепции может быть разработан ряд технических заданий для поэтапного выполнения работы, цель первого этапа – проведение экспериментального полета тяжелого пассажирского самолета в режиме внешнего управления.

Проблема должна решаться с привлечением ведущих зарубежных фирм и организаций. Борьба с международным терроризмом возможна лишь в масштабах всей планеты. При этом кроме технических проблем возникают чисто юридические проблемы, связанные с несовершенством как российского, так и международного законодательства. Разработка правовых вопросов внешнего управления осуществляется по двум уровням. На первом уровне производится разработка международного соглашения, где оговариваются следующие вопросы:

- 1) типы ЛА, оборудованных системами внешнего управления;
- 2) маршруты полетов, на которые не допускаются ЛА, не оборудованные системами внешнего управления;
- 3) порядок допуска к эксплуатации аппаратов с внешним управлением;
- 4) международная и национальная системы инспектирования и проверки положений соглашения;
- 5) ответственность эксплуатанта, допустившего нарушение конкретного положения соглашения. Второй уровень – национальное законодательство. Необходимо проанализировать проекты нормативных актов, в которых определяется правовое положение национальных наземных служб внешнего управления, их полномочия, права, обязанности и ответственность, пределы вмешательства в управление ТС через многоагентную систему, правовые основы взаимодействия служб внешнего управления, находящихся на прилегающих территориях как в пределах одного государства, так и на территориях разных государств, механизмы реализации международных обязательств.

Концепция бортового комплекса внешнего управления воздушным судном в экстремальных ситуациях

Обстоятельства, при которых стало возможным применение воздушных судов (ВС) в качестве орудия совершения крупных террористических актов в США 11 сентября 2001 года, указывают на целесообразность безотлагательной разработки специальных технических средств обеспечения безопасности ВС и его пассажиров и предотвращения террористических актов, при которых управление ВС переходит к злоумышленникам. Одним из вариантов технической реализации может стать бортовой комплекс внешнего управления (БКВУ) воздушным судном.

Настоящая концепция КВУ воздушным судном в экстремальных ситуациях предусматривает взаимодействие БКВУ и наземного центра внешнего управления (НЦВУ) в составе службы управления воздушным движением и включает в себя функциональные блоки, рассматриваемые далее.

Блок выявления экстремальной ситуации на борту ВС. К экстремальным ситуациям на борту ВС в данной концепции рассматриваются случаи:

- террористических актов, при которых управление ВС переходит к злоумышленникам от летного экипажа, члены которого утратили работоспособность вследствие ранения, смерти в результате атаки террористов, или экипаж вынужденно подчиняется террористам при совершении ими террористического акта;

- преднамеренного значительного отклонения ВС от предписанного службой движения маршрута и профиля полета и угрожающего столкновением с крупным или особо важным объектом на земле;

- утраты экипажем работоспособности в силу других причин, например внезапной болезни, отравления или внезапной разгерметизации отсеков ВС в полете на большой высоте и невозможности воспользоваться индивидуальными кислородными приборами.

В качестве признаков экстремальных ситуаций, относящихся к данной концепции, могут рассматриваться:

- а) нажатие каким-либо членом летного экипажа «тревожной кнопки» с автоматической передачей самолетным ответчиком СО системы вторичной радиолокации в службе управления воздушным движением кодированного сообщения о бедствии и необходимости перехода на режим внешнего управления;

б) автоматическое определение в вычислительной системе самолетождения чрезмерного, нелогичного текущего отклонения от линии заданного пути и профиля полета и направления ВС в сторону крупных и важных наземных объектов – вероятных целей воздушных террористов. Координаты потенциальных целей сведены в специальные реестры и введены в память ВС или специального дополнительного вычислителя;

в) автоматическое определение неработоспособного состояния членов экипажа по таким признакам, как:

– ослабление или отсутствие усилия обжатия кистями рук органов штурвального управления (штурвал или ручка управления самолетом, рукоятки управления двигателями) одновременно обоими летчиками в режиме ручного (штурвального) пилотирования ВС;

– нарушение ритма дыхания при потере сознания;

– нарушение или остановка пульса артериального давления обоих летчиков и др.;

г) нарушение логики работы экипажа (или террористов) с бортовым оборудованием;

д) автоматическое распознавание речевых сообщений экипажа и приказов террористов путем сравнения с библиотекой паролей из лексикона летного экипажа и библиотекой речевых угроз и словесных команд террористов.

Во всех указанных случаях распознавание признаков и формулирование вывода о наличии критической ситуации на борту ВС должно сопровождаться подключением к бортовому комплексу связи бортовых акустических, визуальных и параметрических средств и информационных каналов объективного контроля в целях передачи информации с борта ВС службе управления воздушным движением. При этом к комплексу связи подключаются акустические и телевизионные датчики объективного контроля, размещенные в кабине экипажа, на подходах к нему, в пассажирских и грузовых салонах и грузовых отсеках, а также самолетное переговорное устройство.

Передача информации от перечисленных источников может осуществляться не в реальном времени, а с временным разделением сеансов передачи уплотненных массивов данных, в том числе от бортовых устройств регистрации акустической, визуальной и параметрической информации. В реальном масштабе времени, возможно, по специальному каналу связи могут передаваться параметры

движения ВС и работы силовой установки, сигналы ограничительной сигнализации, необходимые для внешнего управления кодовые слова обмена информацией.

В качестве бортовых средств связи могут быть использованы командные радиостанции КВ- и УКВ-диапазонов, система автоматического обмена данными, самолетный ответчик вторичной радиолокации в режиме S, а также специальный дополнительный радиотелеметрический канал и перспективная низкоорбитальная спутниковая система связи, аппаратура зависимого наблюдения.

Блок принятия решения по введению внешнего управления ВС может располагаться как на борту ВС, так и на рабочем месте диспетчера службы управления воздушным движением и оператора НЦВУ. В первом случае решение о переходе на режим внешнего управления принимает экипаж, и оно автоматически передается на рабочее место диспетчера НЦВУ. Во втором случае на рабочих местах авиадиспетчера и оператора внешнего управления анализируется принятая с борта ВС оперативная информация от средств объективного контроля, и решение принимает служба движения после установленных специальных процедур и попыток радиосвязи с экипажем терпящего бедствие ВС.

Блок отключения органов управления полетом и бортовым оборудованием в кабине экипажа и перехода на автоматическое управление полетом принципиально может быть реализован путем перехода на дополнительное.

Бортовой комплекс автоматического управления полетом должен обеспечивать полет ВС по запрограммированному маршруту или по маршруту, переданному из центра внешнего управления (в составе службы управления воздушным движением) в бортовую ВСС, для скорейшего выхода ВС к аэродрому посадки с учетом стандартных правил выполнения полетов. При этом ВСС выполняет стандартные программы вычислений в режимах горизонтальной и вертикальной навигации, используя измерительную информацию от штатных информационно-измерительных и радиотехнических систем и датчиков. В ВСС в соответствии со штатным программно-математическим обеспечением формируются команды управления траекторным движением для вычислительной системы управления полетом (ВСУП) и управления приборной скоростью (или числом М полета) для вычислительной системы управления тягой (ВСУТ) или ВСУП.

От бортового комплекса связи ВСС принимает командную информацию по оперативному изменению программы полета, а при необходимости – и по новым радионавигационным точкам, и другой аэронавигационной информации, и по переключению режимов работы ВСС и ВСУП. Таким образом, комплекс связи в предлагаемом БКВУ будет играть роль виртуальных пультов управления и индикации (ПУИ ВСС), комплексного пульта радиотехнических средств (КП РТС), пульта управления ВСУП (ПУ ВСУП).

В процессе автоматического полета бортовые системы предупреждения о критических режимах полета, система предупреждения о приближении земли, система предупреждения столкновений в воздухе, система сигнализации и локализации отказов, комплексная информационная система сигнализации работают в штатных режимах. Их сигнализации и команды управления в ВСС, ВСУП, ВСУТ передаются на НЦВУ.

В качестве дополнительного навигационного датчика для многорежимный радиоприемник посадки (БМРП) как базовая рассматривается бортовой навигационная система независимого и точного определения местоположения ВС и посадки в автоматическом режиме.

Дополнительным радионавигационным средством может стать также комплекс автоматических средств наблюдения и предотвращения конфликтных ситуаций в воздушном пространстве – отечественная бортовая система автоматического независимого наблюдения – вещательного (АЗН-В). Система АЗН-В должна осуществлять периодическую (до одного сообщения в секунду) передачу по линиям связи радиовещательного типа без предварительного установления контакта таких параметров как координаты, опознавательный индекс ВС и т. д. для использования любым заинтересованным в этой информации бортовым и наземным пользователем.

Данная концепция отвечает идеям Глобального аэронавигационного плана. Концепция Free flight (CNS/ATM) требует использования четырех базовых комплексов бортового радиоэлектронного оборудования:

- 1) комплекса средств обмена данными между участниками воздушного движения о текущем местоположении и направлении движения каждого ЛА;
- 2) навигационной системы независимого и точного определения местоположения ВС и посадки в автоматическом режиме;

3) комплекса автоматических средств наблюдения и предотвращения конфликтных ситуаций в воздушном пространстве;

4) системы электронной индикации и отображения информации в кабине, обеспечивающей экипаж информацией о параметрах полета и состоянии систем в ясной, логичной и недвусмысленной форме.

Очевидно, предлагаемая концепция внешнего управления ВС в экстремальных ситуациях, как дополнительный комплекс, может взаимодействовать с перспективным бортовым и наземным оборудованием по концепции Free flight. Программные и аппаратные средства, которые могут быть созданы согласно концепции внешнего управления, дополняют комплекс автоматических средств наблюдения и предотвращения конфликтных ситуаций в воздушном пространстве, обеспечат отображение дополнительной информации на рабочем месте диспетчера управления воздушным движением и оператора с внешнего управления. Кроме того, будет обеспечено изменение программ полета по радиотелеметрической линии «земля – борт».

Блок НЦВУ (в составе диспетчерского пункта управления воздушным движением), где должны вырабатываться сигналы внешнего управления, передаваемые на борт ВС, оборудуется комплексом связи. Рабочее место оператора внешнего управления связано с рабочими местами всех диспетчеров управления воздушным движением, в зонах ответственности которых может находиться терпящее бедствие ВС при внешнем управлении.

Рабочее место оператора внешнего управления оборудуется комплексом средств отображения параметрической и визуальной информации, наземными дубликатами ПУИ ВСС, КП РТС, ПУ ВСУП и другими необходимыми пультами управления, имеющими физическую или виртуальную техническую реализацию.

Оператор внешнего управления в экстремальной ситуации управляет ВС через ВСС в соответствии с реальной воздушной обстановкой и метеорологическими условиями на маршруте следования ВС, координируя свои действия с диспетчерами службы движения, обеспечивающими скорейшее приземление ВС на одном из ближайших аэродромов, специально оборудованных дополнительными радионавигационными системами посадки, обеспечивающими автоматическое приземление ВС.

Вместе с оператором внешнего управления может дежурить представитель службы безопасности на воздушном транспорте, осу-

цествляющий визуальный и акустический контроль и электронное документирование действий террористов в целях дальнейшего расследования, а также дистанционную нейтрализацию террористов путем применение спецсредств.

Блок включения данных о терпящем бедствие ВС в многопользовательский «виртуальный мир» в целях обеспечения безопасного управления воздушным движением представляет собой программный модуль, который используется в многопроцессорной вычислительной системе АСУ воздушным движением.

Блок управления автоматической посадкой самолета в режиме внешнего управления включает в себя комплекс аппаратных и программных средств обеспечения автоматической посадки на аэродроме, оборудованном комплексом радиотехнических средств. Разрабатываемое в России, США, Франции радионавигационное оборудование навигации и посадки использует три стандарта: ILS, MLS и GNSS, рекомендованные ICAO для использования в гражданской авиации. Указанные системы могут использоваться на равных правах. Система ILS была принята в 1950-х гг. и не обеспечивает автоматической посадки. Система MLS принята в 1985 г. и обеспечит автоматическую посадку ВС в перспективе, по мере оборудования аэропортов и совершенствования комплексов бортового оборудования. Глобальная навигационная спутниковая система GNSS в качестве базовой для обеспечения автоматического захода на посадку была одобрена Советом ICAO как стандартная в январе 2001 г. (Поправка 76 к тому 1 Приложения 10 к Конвенции ICAO).

Рассмотренные функциональные блоки в технической реализации могут представлять собой как самостоятельные технические средства, так и модифицированное ПО штатных бортовых вычислительных систем. Рассмотрим кратко возможные технические решения, которые позволят реализовать концепцию внешнего управления, имея в виду, что внешнее управление сводится:

- к участию человека-оператора НЦВУ в изменении запрограммированного в бортовой ВСС маршрута, профиля и скорости полета;
- к управлению скоростью полета через ВСУТ или через продольный канал ВСУП;
- к введению в действие систем вспомогательного управления шасси и механизацией крыла в соответствии с руководством по летной эксплуатации данного типа ВС;

– к передаче (при необходимости) на борт ВС параметров работы наземных радиомаяков радионавигационных систем, если они отсутствуют в памяти бортового комплекса;

– к оперативному изменению траектории движения ВС и его угловой ориентации в случаях, когда в целях безопасности полетов и при отказе средств автоматической выработки решений для предотвращения столкновений с другими ВС, столкновений с землей и наземными препятствиями, при выходе на критические режимы полета;

– к оперативной нейтрализации террористов, проникших в кабину экипажа ВС, путем применения бортового комплекса спецсредств.

Как отмечалось выше, ряд фирм ведут разработку многорежимного бортового приемника (MMR). В России такой приемник, разрабатываемый под индексом БМРП, обеспечивает возможность посадки по маякам ILS, MLS и GNSS, формируя в режиме полета по спутниковой навигационной системе сигналы отклонения от заданной траектории посадки ВС в ILS-подобном формате. Точность определения координат ВС существенно возрастает за счет применения дифференциального режима, в котором используются дифференциальные данные при одновременной работе аппаратуры на борту ВС с космической группировкой навигационных искусственных спутников Земли и с сигналами расположенного на территории аэродрома стационарного радиомаяка, формирующего дифференциальные данные.

Таким образом, российская промышленность разрабатывает высокоточные и надежные технические средства обеспечения автоматической посадки ВС, которые делают возможным внешнее управление автоматическим самолетовождением, в том числе полетом по штатному или оперативно измененному маршруту в верхнем и нижнем воздушном пространстве, в зонах подхода, круга, посадки, и автоматический заход воздушных судов на посадку в экстремальной ситуации при отключенных бортовых средствах управления, размещенных в кабине экипажа ВС или в его технических отсеках.

В современном мире угрозы терроризма будут возрастать, что заставит перейти на использование самолетов с внешним управлением. В США готовится законодательный акт, по которому в Америку будут допускаться только самолеты, для которых предусмотрено внешнее управление. Если до недавнего времени приоритетными были требования по экологии, уровню шума и т. д., то сейчас на

первое место выходят требования защищенности от террористов. Далее, в связи с ростом авиационного сообщения внедрение внешнего управления позволит упорядочить обстановку на воздушных трассах и в зоне аэропортов и снизить число аварий из-за ошибок людей-пилотов. В настоящее время в автомобильном транспорте тоже рассматривается вопрос о введении внешнего управления для того, чтобы уменьшить хаос на дорогах и пробки.

Таким образом, будущее всех транспортных систем связано с внедрением внешнего управления в самоорганизующиеся системы. При разработке новых самолетов, автомобилей и морских судов необходимо уже сейчас закладывать возможность внешнего управления.

1.10. Лингвистический поворот

Просвещение масс, благородная цель прекрасных и передовых людей, начатая софистами и Сократом, сегодня в общем реализована [73]. Никогда еще в истории не было ни в Европе, ни в мире в целом такого количества грамотных людей, людей с университетским образованием, такого числа профессиональных ученых. Вместе с тем образование как линза увеличивало и дало возможность увидеть все – и талантливое, и средней руки даровитое, и бездарное. Никогда до нашего столетия не было у творцов научных и художественных произведений такой квалифицированной и подготовленной публики, как не существовало и такого пугающего количества тех и других. Никогда обыденный повседневный язык не подходил так близко к научному и литературному, в силу чего и стал возможен так называемый лингвистический поворот. Никогда у культуры не было стольких каналов, а у потребителей – такого выбора. Никогда не писали так много и здорово, и до появления компьютера с его гипертекстом выражение «океан идей и образов» оставалось лишь тропом. Сегодня произошла смена не только научности и литературности, изменился сам человек, его изменили обстоятельства, изменился образ автора и образ реципиента.

Мы знаем, что автор идеализма – Платон, автор диалектики – Гераклит, физики, логики и социологии – Аристотель, механики – Ньютон, трансцендентальной дедукции – Кант, феноменологии – Гуссерль, марксизма – Маркс, фрейдизма – Фрейд. Автор и реципиент современной экранной культуры – постнеклассический

субъект с тысячами имен и лиц, мистическое существо карнаваль-ного шествия с масками, петардами, символическими фигурами, ожившими иррациональными фантазиями, смешением времен и нравов и нескончаемым дебатом – перекличкой. Тут – обширные сведения, риторические приемы, цитирование и плагиат, много-слойный комментарий и самоуточнение, порождение, конструк-ция, деконструкция и уничтожение смыслов, гирлянды аллюзий и аллегорий без конца и начала. Оформилось «сознание изначальной фрагментарности, принципиальной несинтезируемой раздроблен-ности человеческого опыта последней трети XX в., соединенное с почти интуитивным стремлением к художественному постижению жизни, освобождению от логоцентризма, рационализма, догма-тизма и обязанности различать реальность и фантазию» (Ильин И. Постконструктивизм, деконструктивизм и постмодернизм. М., 1996. С. 31). Именно такое мироощущение имеет общее название – постмодернизм, который был лидирующим последние десятилетия XX в. Знаково-символическим событием постмодернизма стал так называемый лингвистический поворот (linguistic turn).

Множество гуманитарных наук вовлеклись в этот поворот – социология, политическая теория, история, собственно филоло-гия и литературоведение, культурология, философская антро-пология, теория коммуникации и др. Для экзистенциалистско-феноменологическо-герменевтической линии этот поворот стал но-вым импульсом исследования существования человека в дискурсе культуры, точнее говоря, в языке. Границы языка окончательно предстали перед философами как границы мира, обычный чело-веческий язык предстал как естественная универсальная система знаков, способная быть метаязыком для любой другой системы. Это вызвало смену идеала научности. Появилась постмодернист-ская критика классической теории познания, замена ее кантиан-ской теорией понимания. Конструкт «языковая картина мира» вошел в универсальное употребление наряду с «научной картиной мира» и стилем мышления.

Примерно через десять лет после выхода в 1921 г. «Логико-философского трактата» Л. Витгенштейна происходит лингвисти-ческий поворот. Язык предстает как языковая игра, и это уже не функциональный язык науки, а естественный разговорный язык, для исследования которого в новом ключе потребовались новые термины – языковая игра, анатомия чтения, семейное подобие и др. Что они означают?

Языковая игра – это и строго определенная модель коммуникации, и конституция текста, где слова употреблялись в строго определенном смысле. Отсюда следовала непротиворечивость контекста и важные возможности – произвольно, но строго описать факт или явление, построить модель поведения, задать способ прочтения текста.

Анатомия чтения – это ситуация, когда одна языковая игра прочитывается принципиально разными способами.

Семейное подобие – это когда в основе коммуникации лежит не абстрактная сущность языка, а реальное многообразие способов описания.

Условный мир культуры сейчас действительно организован по-новому, не так, как в эпоху Возрождения, не так, как в эпоху Просвещения, не так, как во время Ницше. Но как? В чем состоит новизна этой новизны? Прежде всего словарь постмодернизма необычайно богат и красочен, он изобличает напряженную творческую работу мысли, чудесную силу фантазии. Ключевое слово – это слово дискурс. В известном «Объяснительном словаре теории языка» А. Грема и Ж. Куртэ его объяснению посвящено 11 статей и множество ссылок. Однако в первом приближении дискурс – это письмо, т. е. текст, хотя этимологически дискурс – диалог, разговор. Текст да не текст. Не просто текст. Это сам мир, место, полное смыслов. Концептом № 1 для постмодернизма является утверждение, что весь мир есть сконструированный, сделанный мир, и этот мир есть семиотический код. Человек – не более, но и не менее чем продукт гутенберговской цивилизации, его ментальность – тоже текст внутри обширного множества текстов, т. е. культуры.

Культура – это традиции и письма, это ряд посланий. Письменный текст (*gramme*) предпочтительнее, чем устная речь (*phone*), потому что последняя претендует на интимную связь с мышлением, если не на то, чтобы быть реинкарнацией мысли. Графическая нотация не столь претенциозна, свободна от этой роли, так же как и от героической роли картезианского «*cogito*». Человек свободен в выборе знаковой графической системы (хотя и не свободен от самого выбора, от жизни в тексте).

Текст и письмо – это социальные институты, они нормативны, и в таком качестве организуют коммуникацию. Постоянное трепетание между инвариантом письма и вариантами индивидуальной речи характеризует аппроксимацию, приближение к пониманию другого. Таково кредо постмодернизма.

Лингво-комбинаторное моделирование – это развитие лингвистического поворота.

Контрольные вопросы

1. Характерные черты мифологической картины мира.
2. Характерные черты механистической картины мира.
3. За что инквизиция судила Галилея?
4. Характерные черты неклассической картины мира.
5. Характерные черты постмодернизма.
6. В чем сущность спора между Ньютоном и Лейбницем?
7. Психометрический интеллект и тесты.
8. Особенности левостороннего мышления.
9. Особенности правостороннего мышления.
10. Что такое самоорганизация?
11. Пример самоорганизующейся системы.
12. Внешнее управление сложными системами.
13. Лингвистический поворот.
14. Смысл автоматизации человеческой деятельности.
15. Характерные черты компьютеризма.
16. Чем отличается механицизм от компьютеризма?
17. В 1892 г. английский инженер-электрик Оливер Хевисайд заметил, что с дифференциальными операторами часто можно обращаться точно так же, как с обычными числами, и этот факт оказывается полезным при решении некоторых типов дифференциальных уравнений. Из этого наблюдения выросло операторное исчисление. Какую аналогию можно провести между операторным исчислением и лингво-комбинаторным моделированием?
18. Существуют следующие основные направления научно-технической и инновационной деятельности ГУАП.

Космическая сфера – исследование возможностей освоения Луны и планет, создание системы машин для освоения Луны, создание лифта Земли – Луна на основе сверхпрочного нанотроса, разработка принципиально новых способов преодоления пространства и времени.

Авиационная сфера – разработка новых пилотируемых и беспилотных ЛА различного назначения, в том числе привязных аэростатов и дирижаблей для решения различных задач, разработка систем группового управления.

Оборонная сфера – разработка новых видов оружия нападения и обороны, моделирование поля боя.

Радиоэлектронная сфера – разработка новых радиолокационных и лазерных систем и комплексов, разработка новых систем передачи информации.

Вычислительная техника – системы на кристалле, самоорганизующиеся БИС, от цифровых аналогов через рекурсивные машины к квантовым компьютерам.

Роботы различного назначения – от нанороботов, для которых определены необходимые и достаточные условия синтеза, до человекоподобных роботов для диагностики газопроводов, подводных роботов, роботизированных автомобилей и др.

Сенсорные системы – датчики различного назначения и системы датчиков, искусственная кожа, искусственный глаз (рыбий глаз и др.), искусственное ухо.

Программирование – осознание ограниченности метафоры рабочего стола и переход к метафоре города, велосипедное программирование на кибервело.

Биомедицинские системы – разработка электронного паспорта здоровья на основе компьютерной модели организма для уменьшения врачебных ошибок, разработка виртуальных реабилитационных систем для центра Илизарова.

Системный анализ – исследование феномена адаптационного максимума в различных сложных системах, исследование превращающихся систем.

Лингвистика – разработка систем перевода устной речи с одного языка на другой в реальном времени на основе мобильного телефона.

Моделирование сложных развивающихся систем – моделирование города для поддержки управленческих решений, моделирование региона, стран и всей планеты в целях обеспечения устойчивого развития.

Разработка альтернативной ядерной энергетики с целью обеспечить режим нераспространения ядерного оружия.

Сохранение памяти о защитниках нашей Родины на основе новых информационных технологий, виртуализация Кингисеппского историко-краеведческого музея, создание панорамы битвы за Ленинград.

Какое из этих направлений Вы выбираете для своей деятельности в ближнесрочной, среднесрочной или долгосрочной перспективе? Можете ли Вы предложить свое видение направления Вашей деятельности?

ГЛАВА 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛАБО ФОРМАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ

Успехи современной науки со времен Ньютона неоспоримы, но чем энергичнее внедряются ее результаты в виде различных машин и технологий во все сферы жизни, тем явственнее проступают ее недостатки. Один из главных недостатков заключается в том, что современные технологии рассчитаны на использование больших количеств энергии и материалов, больших давлений, напряжений, усилий, температур и т. д., что приводит к загрязнению окружающей среды, истощению источников энергии и материалов, гибели живой природы – т. е. к тому, что называют экологическим кризисом.

Истоки этих недостатков лежат в самой парадигме современной науки, ее деятели слишком часто пользовались бритвой Оккама, срезая как бы все лишнее и слишком упрощая проблемы. В итоге сложилось стремление к «гениальной» простоте, физика заполнилась формулами из трех букв вроде закона Ома. И если это было простительно в докомпьютерный век, то с появлением мощных компьютеров, которые буквально входят в каждый дом, неоправданное упрощение недопустимо, недопустимо пренебрежение тонкими сущностями. Информатика имеет дело со слабыми сигналами, которые могут управлять большими процессами. Слабое человеческое слово способно приводить в действие мощные армии. Информатизация всех отраслей человеческой деятельности – это прежде всего выявление возможностей управления с помощью слабых сигналов, слабых по мощности, температуре, напряжению.

Но для того чтобы управлять системами, необходимо иметь новые модели различных процессов, в сами эти модели должна быть заложена возможность информационного управления. В этом сущность процесса информатизации. Обычно под информатизацией понимается процесс внедрения новых информационных технологий, прежде всего компьютерных и телекоммуникационных, в различные сферы социально-экономической жизни, но этого недостаточно. Люди в основном пользуются формальными моделями XIX в.

Другой недостаток современной науки, основанной на эксперименте, заключается в том, что факт признается достоверным, если он воспроизводим. Но в сложных системах обеспечить повторяемость невозможно, можно утверждать, что повторяющихся явле-

ний в сложных системах крайне мало, как число похожих людей в обществе, каждый человек характеризуется своей индивидуальностью. Для познания природы важна не только воспроизводимая информация, но и невозпроизводимая, ее необозримый массив.

Ниже рассматривается новый класс моделей. Любая отрасль науки опирается на модели реальных процессов, в одних отраслях науки эти модели более, в других менее формализованы, но все они используют естественный язык. Естественный язык – это мощная моделирующая система, созданная усилиями всего человечества, и очень важно разобраться, как она работает. Из-за особенностей голосовой и слуховой систем человека естественный язык – это линейная последовательность слов, в которой обозначаются слова, а их смыслы подразумеваются.

Теория должна помогать решать еще нерешенные задачи, важнейшей из которых является моделирование плохо формализованных систем. Чтобы превратить различные научные изыскания в технологию, необходимо осуществить большую работу по формализации. Вначале человек формулирует свои мысли на естественном языке **Ячел**, описывает ситуации и задачи на естественном языке; потом, если удастся, строит математическую модель, формулирует задачи на языке основных соотношений **Яос**; потом эти формулировки переводятся на тот или иной язык программирования **Япр**; потом разработанная программа реализуется в компьютере на языке конкретной машины **Ямаш**, и как результат решение задачи выдается на языке результата **Ярез** в виде таблиц, графиков, текстов, анимаций и т. д. Вся цепочка преобразований выглядит так:

Ячел → Яос → Япр → Ямаш → Ярез.

Главная проблема – как перейти от описания на естественном языке к описанию на языке основных соотношений. Для решения этой проблемы предлагается использовать лингво-комбинаторное моделирование плохо формализованных систем, которое базируется на использовании ключевых слов, основных понятий, сложившихся в предметной области. Модель состоит из трех групп переменных: характеристик основных понятий, изменения этих характеристик и структурированной неопределенности в эквивалентных уравнениях, которая может быть использована для адаптации и управления. В качестве примеров рассматриваются модели атомов, города, организма и атмосферы.

2.1. Лингво-комбинаторное моделирование и операция поляризации

Лишь для небольшого числа реальных систем имеются математические модели. Прежде всего, системы описываются с помощью естественного языка.

Предлагается способ перехода от описания на естественном языке к математическим уравнениям. Например, пусть имеется фраза

$$\text{WORD1} + \text{WORD2} + \text{WORD3}. \quad (2.1)$$

В этой фразе мы обозначаем слова и только подразумеваем смысл слов. Смысл в сложившейся структуре естественного языка не обозначается. Предлагается ввести понятие смысла в следующей форме:

$$(\text{WORD1}) * (\text{SENSE1}) + (\text{WORD2}) * (\text{SENSE2}) + (\text{WORD3}) * (\text{SENSE3}) = 0. \quad (2.2)$$

Будем обозначать слова как A_i (от англ. appearance), а смыслы – как E_i (от англ. essence). Тогда уравнение (2.2) может быть представлено как

$$A_1 * E_1 + A_2 * E_2 + A_3 * E_3 = 0. \quad (2.3)$$

Уравнения (2.2) и (2.3) являются моделями фразы (2.1). Образование этих уравнений, приравнивание их к нулю и есть операция поляризации.

Рассмотрим пример. Если мы имеем математическое уравнение $F(x_1, x_2, x_3) = 0$, то можем получить форму (2.3) посредством дифференцирования этого уравнения, тогда A_i будут частными производными, а E_i – производными по времени от переменных.

Лингво-комбинаторная модель является алгебраическим кольцом, и мы можем разрешить уравнение (2.3) либо относительно A_i , либо относительно E_i путем введения третьей группы переменных – произвольных коэффициентов U_s [26]:

$$\begin{aligned} A_1 &= U_1 * E_2 + U_2 * E_3; \\ A_2 &= -U_1 * E_1 + U_3 * E; \\ A_3 &= -U_2 * E_1 - U_3 * E_2 \end{aligned} \quad (2.4)$$

или

$$\begin{aligned} E_1 &= U_1 * A_2 + U_2 * A_3; \\ E_2 &= -U_1 * A_1 + U_3 * A_3; \end{aligned}$$

$$E3 = -U2*A1 - U3*A2, \quad (2.5)$$

где $U1, U2, U3$ – произвольные коэффициенты, которые можно использовать для решения различных задач на многообразии (2.3).

Например, если хотим достигнуть максимум на поверхности $F(x1, x2, x3) = 0$ по переменной $x3$, то можем назначить произвольные коэффициенты $U2 = -b*A1, U3 = -b*A2$ и тогда получим

$$\begin{aligned} dx1/dt &= U1*A2 - b*A1*A3; \\ dx2/dt &= -U1*A1 - b*A2*A3; \\ dx3/dt &= b*(A1*A1 + A2*A2), \end{aligned} \quad (2.6)$$

и если $b > 0$, тогда переменная $x3$ устойчиво стремится к максимуму, а для манипуляции траекторией остается коэффициент $U1$.

В общем случае, если имеем n переменных и m многообразий, ограничений, то число произвольных коэффициентов S будет равно числу сочетаний из n по $m + 1$, что было доказано в [24] (табл. 2.1):

$$S = C_n^{m+1}, \quad n > m. \quad (2.7)$$

Таблица 2.1

Число произвольных коэффициентов S

n	m							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2	1							
3	3	1						
4	6	4	1					
5	10	10	5	1				
6	15	20	15	6	1			
7	21	35	35	21	7	1		
8	28	56	70	56	28	8	1	
9	36	84	126	126	84	36	9	1

Число произвольных коэффициентов является мерой неопределенности и адаптивности. Лингво-комбинаторное моделирование может опираться на анализ всего корпуса текстов на естественном языке. Это трудоемкая задача по извлечению смыслов для суперкомпьютеров, его можно также использовать, опираясь на ключевые слова в конкретной области, что позволяет получать новые модели для конкретных областей знания. В этом случае лингво-комбинаторное моделирование заключается в том, что в конкретной предметной области выделяются ключевые слова, которые

объединяются во фразы типа (2.1), на основе которых строятся эквивалентные системы уравнений с произвольными коэффициентами. В частном случае они могут быть дифференциальными уравнениями, и при их исследовании может быть использован хорошо разработанный математический аппарат. Лингво-комбинаторное моделирование включает все комбинации и все варианты решений и является полезным эвристическим приемом при изучении плохо формализованных систем [26, 28]. В лингвистической литературе имеется множество трудов, в которых исследуются понятия смысла и значения, но эти теории во многом оказались неконструктивными, что ярко показал австрийский философ Л. Витгенштейн в «Голубой книге». Использование в качестве модели фразы (2.1) уравнения (2.2) позволяет построить исчисление смыслов, которое хорошо реализуемо на компьютерах. По мнению Д. А. Леонтьева, смысл (будь то смысл текстов, фрагментов мира, образов сознания, душевных явлений или действий) определяется, во-первых, через более широкий контекст и, во-вторых, через интенцию или энтелехию (целевую направленность, предназначение или направление движения). В нашем определении смысла наличествуют эти две характеристики – контекстуальность (смыслы вычисляются исходя из контекста) и интенциональность (произвольные коэффициенты позволяют задавать те или иные устремления).

Интенциональность – фундаментальное свойство человеческого разума. Интенциональность есть соотнесение ментальных состояний с объектами и ситуациями внешнего мира: я вижу что-то, я верю во что-то, я ожидаю чего-то, я боюсь чего-то, я хочу чего-то и т. д. Понятие интенции, намерения, направленности сознания, воли, чувства на какой-либо предмет было в XIX в. введено немецким философом Ф. Brentano. Интенциональные состояния можно отличить от неинтенциональных, не имеющих референтного объекта: я волнуюсь, я устал, я испуган, я счастлив и т. д. Интенциональность – это свойство сложных систем, которое развивается в процессе эволюции. Устройство жилищ общественных насекомых является примером коллективной интенциональной динамики. Например, множество термитов строят прочные сооружения, достигающие высоты 5 м, весом 10 т.

В философии существует большое направление – феноменология – изучение сущностей [8, 10]. Делят сущности на наблюдаемые и ненаблюдаемые. Можно трактовать лингво-комбинаторное моделирование как конструктивную феноменологию, как исчисление сущностей исходя из различных текстов на естественных и искус-

ственных языках, при этом можно рассматривать как отдельные тексты, так и весь корпус текстов, накопленных человечеством. Каждый этносоциум обладает своим набором сущностей, который отличается от набора сущностей других этносоциумов. Разнообразие этносоциумов – это богатство нашей планеты. В связи с глобализацией количество этносоциумов сокращается, что плохо.

Процесс познания – это изучение текстов. Именно поэтому возникает знаменитый тезис Матураны: все, что сказано, сказано наблюдателем. Мы не можем вынести наблюдателя за скобки описания процесса познания, так как в этом описании незримо присутствует описание внутреннего состояния, внутренней психической организации наблюдателя, которое рекурсивно совершается в течение всей жизни¹. Классический подход к моделированию представлен в прил. 2 «Экологические и эволюционные модели». Авторы этой работы, сотрудники Института эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова РАН, В. В. Меншуткин, А. Б. Казанский, В. Ф. Левченко, были одними из первых, награжденных Государственной премией СССР в области моделирования.

2.2. Адаптационные возможности сложных систем

В структуре эквивалентных уравнений систем со структурированной неопределенностью есть произвольные коэффициенты, которые можно использовать для приспособления системы к различным изменениям, чтобы повысить точность и надежность функционирования систем, их живучесть в потоке перемен. В качестве простого примера рассмотрим систему с коррекцией аргумента для генератора, переменные которого удовлетворяют уравнение окружности

$$(x)^2 + (y)^2 = R^2. \quad (2.8)$$

После дифференцирования получим

$$(x)dx/dt + (y)dy/dt = 0. \quad (2.8a)$$

и уравнения с произвольными коэффициентами будут иметь вид

$$dx/dt = U_1y; \quad (2.9a)$$

$$dy/dt = -U_1x. \quad (2.9б)$$

¹ См.: Матурана У. Биология познания. Язык и интеллект. М., 1996.

Произвольный коэффициент $U1$ может быть использован для коррекции генератора 1, как показано на рис. 2.1, где мы имеем два сервомеханизма и где $f1$ и $f2$ – помехи, Δx и Δy – ошибки сервомеханизмов. Блок 2 вычисляет сигнал коррекции

$$\Delta = (\gamma)^2 - (\Delta x)^2 - (\Delta y)^2 \quad (2.10)$$

На рис. 2.2 и 2.3 показаны осциллограммы процессов в схеме рис. 2.1 при различных параметрах систем.

В качестве другого примера рассмотрим ультраустойчивую систему.

Для уменьшения ошибок нашего генератора мы введем новую переменную $x3$:

$$(x1)^2 + (x2)^2 - R^2 = x3. \quad (2.11)$$

После дифференцирования мы будем иметь уравнения (2.3) и (2.5), где $A1 = 2x1$, $A2 = 2x2$, $A3 = 1$, и

$$\begin{aligned} dx1/dt &= U1 \cdot 2x2 - U2; \\ dx2/dt &= -U1 \cdot 2x1 - U3; \\ dx3/dt &= -U2 \cdot 2x1 - U3 \cdot 2x2. \end{aligned} \quad (2.12)$$

Если назначить $U2 = x3x1a$, $U3 = x3x2a$, где a – коэффициент усиления, мы получим

$$\begin{aligned} dx1/dt &= U1x2 - x3ax1; \\ dx2/dt &= -U1x1 - x3ax2; \\ dx3/dt &= -x3a [(x1)^2 (x2)^2], \end{aligned} \quad (2.13)$$

где переменная устойчиво будет стремиться к нулю.

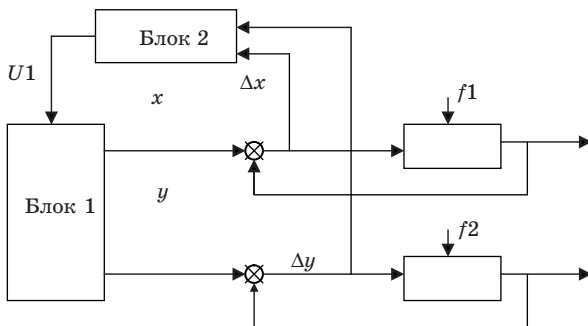


Рис. 2.1. Система с коррекцией аргумента

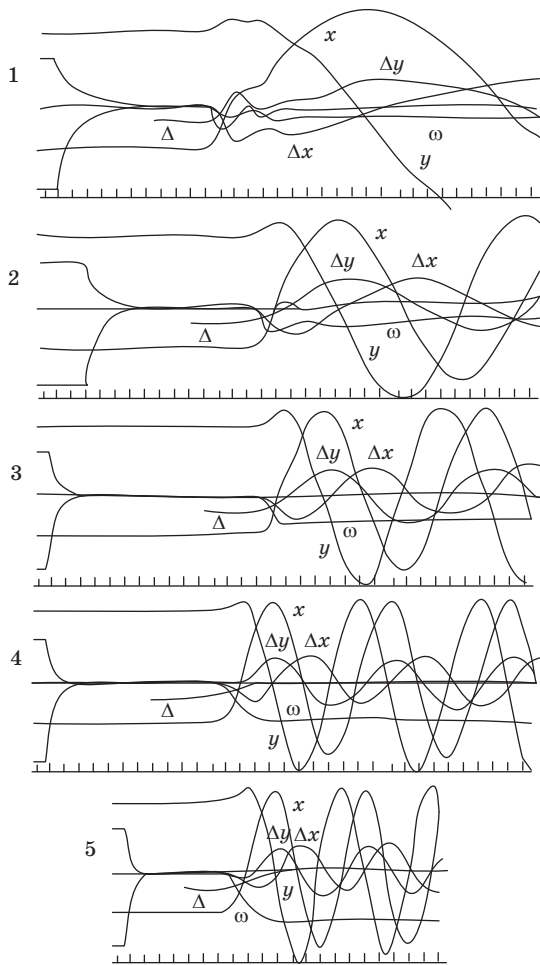


Рис. 2.2. Осциллограммы 1–3 есть результат моделирования системы без коррекции аргумента; осциллограммы 4, 5 являются результатом моделирования системы с коррекцией аргумента при неравных характеристиках сервомеханизмов

Для построения трехмерного ультраустойчивого генератора мы введем новую переменную x_4 :

$$(x_1)^2 + (x_2)^2 + (x_3)^2 - R^2 = x_4, \tag{2.14}$$

и система эквивалентных уравнений будет

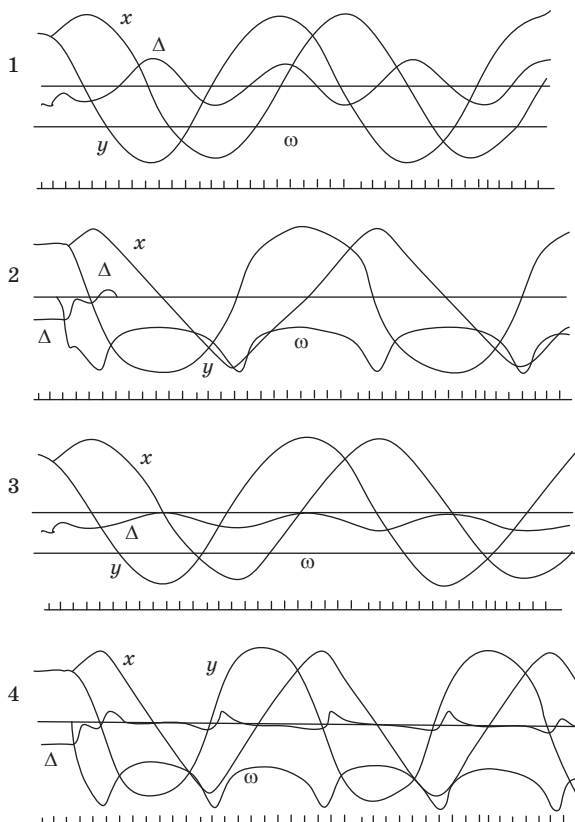


Рис. 2.3. Осциллограммы 1 – 4 – это результат моделирования системы с коррекцией аргумента в случае одинаковых сервомеханизмов для различных скоростей в пропорции 1:2:3:4:5 и где ω есть эквивалент U_1

$$\begin{aligned}
 dx_1/dt &= U_1 \cdot 2x_2 + U_2 \cdot 2x_3 - U_3; \\
 dx_2/dt &= -U_1 \cdot 2x_1 + U_4 \cdot 2x_3 - U_5; \\
 dx_3/dt &= -U_2 \cdot 2x_1 - U_4 \cdot 2x_2 - U_6; \\
 dx_4/dt &= -U_3 \cdot 2x_1 - U_5 \cdot 2x_2 - U_6 \cdot 2x_3. \quad (2.15)
 \end{aligned}$$

Если мы назначим $U_3 = x_4x_{1a}$, $U_5 = x_4x_{2a}$, $U_6 = x_4x_{3a}$, то получим

$$dx_1/dt = U_1 \cdot 2x_2 + U_2 \cdot 2x_3 - x_4x_{1a};$$

$$\begin{aligned} dx_2/dt &= -U_1 \cdot 2x_1 + U_4 \cdot 2x_3 - x_4 x_2 a; \\ dx_3/dt &= -U_2 \cdot 2x_1 - U_4 \cdot 2x_2 - x_4 x_3 a; \\ dx_4/dt &= -x_4 a^2 [(x_1)^2 + (x_2)^2 + (x_3)^2], \end{aligned} \quad (2.16)$$

где x_4 будет устойчиво стремиться к нулю при различных возмущениях (рис. 2.4).

Таким образом, мы построили генератор с большими адаптационными возможностями при различных возмущениях, в том числе и при вычислительных ошибках.

Теперь рассмотрим феномен адаптационного максимума в жизненном цикле сложных развивающихся систем.

Биологические системы – от живой клетки до многоклеточных организмов – проходят свой цикл развития от рождения до смерти. Социально-экономические системы: семья, предприятия, банки, города, села, регионы, страны – проходят сложный путь развития, находясь под воздействием различных внутренних и внешних факторов. Одни предприятия и банки процветают, другие терпят крах и банкротятся, одни города и страны процветают, другие переживают стагнацию, о чем свидетельствует мировая статистика. Все эти системы являются сложными развивающимися системами, и в жизненном цикле этих систем проявляются закономерности, свойственные многомерным системам.

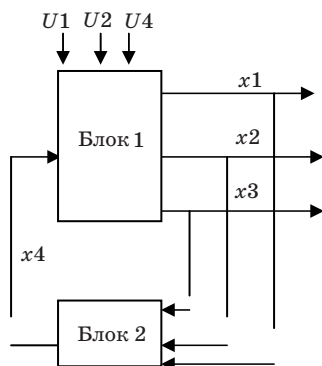


Рис. 2.4. Ультраустойчивый генератор, где блок 1 решает первые три уравнения (2.16), блок 2 решает уравнение (2.14) и произвольные коэффициенты U_1, U_2, U_4 могут быть использованы для решения других задач на многообразии, на поверхности сферы

Важной закономерностью, оказывающей большое влияние на социально-экономические системы, является феномен наличия адаптационного максимума, который заключается в следующем [7–9].

Установлена ранее неизвестная закономерность наличия адаптационного максимума в жизненном цикле сложных развивающихся систем, заключающаяся в том, что при наложении ограничений на систему из n переменных ($n > 6$) число произвольных коэффициентов в структуре эквивалентных уравнений, описывающих поведение системы, сначала возрастает, достигает максимума, а потом начинает убывать, и соответственно изменяются адаптационные возможности системы – сначала они растут, достигают максимума, а потом начинают убывать, и если наложение ограничений продолжается, то система делается жесткой и погибает в потоке перемен окружающей среды, откуда вытекает стратегия управления различными сложными системами – они должны управляться так, чтобы удержать их в зоне адаптационного максимума, если мы хотим обеспечить их живучесть в потоке перемен.

Уже давно известно, что существуют ритмы в биологических системах. Например, из результатов переписи населения (табл. 2.2) ясно видно наличие минимума смертности для людей в возрасте 10–14 лет, при этом следует отметить, что он сохраняется независимо от социально-экономических условий – и в период 1896–1897 годов, и в период 1984–1985 годов, но объяснения этому минимуму

Таблица 2.2

Age	Years					
	1896–1897	1958–1959	1969–1970	1978–1980	1982–1983	1984–1985
0–4	133,0	11,9	6,9	8,1	7,9	7,7
5–9	12,9	1,1	0,7	0,7	0,6	0,6
10–14	5,4	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5
15–19	5,8	1,3	1,0	1,0	1,0	0,9
20–24	7,6	1,8	1,6	1,7	1,6	1,5
25–29	8,2	2,2	2,2	2,3	2,2	2,0
30–34	8,7	2,6	2,8	2,9	2,9	2,8
35–39	10,3	3,1	3,7	4,3	3,8	3,6
40–44	11,8	4,0	4,7	5,4	5,6	5,7
45–49	15,7	5,4	6,0	7,8	7,4	7,3
50–54	18,5	7,9	8,7	10,3	10,9	11,3

смертности не было. Из статистики развития экономики известны циклы Кондратьева и другие циклические явления в экономике как отдельных предприятий, так и более крупных экономических образований. В технических системах известны периоды максимальной надежности и устойчивости систем. Предложенная математическая модель развивающихся систем позволяет говорить о наличии закономерности адаптационного максимума, которая объясняет многочисленные факты и позволяет предсказывать поведение сложных систем.

Система – целостная совокупность элементов, в которой все элементы настолько тесно связаны между собой, что она выступает по отношению к другим системам и окружающей среде как нечто единое. На рис. 2.5 представлена схема, где система взаимодействует со средой и использует два механизма адаптации: а) настройка или самонастройка системы с помощью произвольных коэффициентов в структуре эквивалентных уравнений системы; б) обучение или самообучение системы, которая заключается в наложении новых ограничений на систему. Кроме этих механизмов адаптации возможны и другие, такие как рост числа переменных системы, размножение, эффективное забывание, ограничение контактов со средой, объединение систем в коллектив и др. В общем случае число произвольных коэффициентов S в структуре эквивалентных уравнений системы определяется как число сочетаний из n по $m + 1$ и определяется формулой (2.7) (см. табл. 2.1)

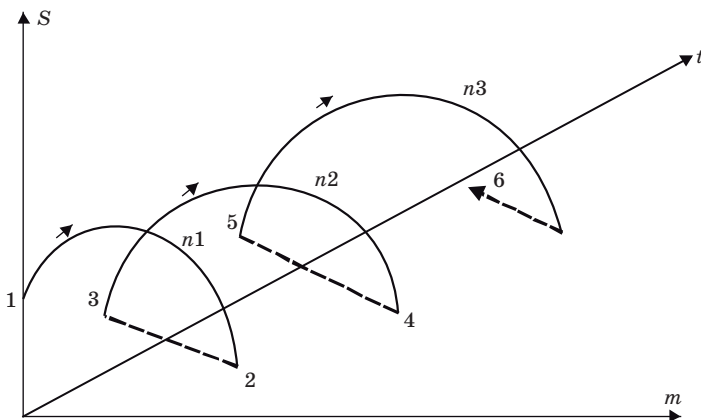


Рис. 2.5. Трансформация развивающейся системы, $n1 < n2 < n3$, траектория системы: 1-2-3-4-5-6-...

Сложная система – это система, в которой проявляется феномен адаптационного максимума, т. е. система с числом переменных больше шести. На рис. 1.5 представлена схема взаимодействия вышеописанной системы с окружающей средой, где переменные системы x_1, \dots, x_k взаимодействуют с переменными среды y_1, \dots, y_k , а сигналы рассогласования передаются в блок управления, и у системы есть две возможности приспособиться к изменениям в среде, это, во-первых, настройка с помощью манипуляции произвольными коэффициентами, и чем больше этих коэффициентов, тем выше адаптационные возможности, и, во-вторых, обучение, наложение новых ограничений на переменные системы. В режиме непрерывного обучения число произвольных коэффициентов изменяется в соответствии с формулой (2.7), и это приводит к появлению циклов в развитии систем, что иллюстрируется на рис. 2.5, где цикл развития системы начинается в точке 1, проходит через максимум в числе произвольных коэффициентов и заканчивается в точке 2, где должна наступить трансформация, сброс ранее накопленных ограничений, далее начинается в точке 3 новый цикл, опять система проходит через максимум адаптационных возможностей, достигает точки 4, где опять происходит трансформация, и система начинает новый цикл в точке 5 и т. д. Эта модель позволяет объяснить наличие циклов в развитии сложных биологических, социально-экономических и технических систем.

Предложенная модель процессов самоорганизации сложных развивающихся систем реализует закономерность наличия адаптационного максимума в жизненном цикле систем в потоке перемен. Жизненный цикл – совокупность фаз развития, пройдя через которые система достигает зрелости и становится способной эффективно функционировать и дать начало новому поколению.

Как показывает статистика, существуют циклы в развитии экономики, в частности – циклы Кондратьева. Учет закономерности наличия адаптационного максимума позволяет объяснить эти циклы [37]. Надежность сложных человекомашинных комплексов достигает своего максимума в зоне адаптационного максимума и технические системы должны строиться таким образом, чтобы при изменении этих систем они оставались в зоне адаптационного максимума как можно дольше.

Число примеров систем можно было бы увеличивать, но уже ясно, что феномен адаптационного максимума существует, и учет закономерности наличия адаптационного максимума в жизненном

цикле сложных развивающихся систем позволит лучше понять механизмы их функционирования и значительно улучшить их характеристики. Для того чтобы выжить, этносоциум должен находиться в зоне адаптационного максимума.

Структурная стабильность, совокупность устойчивых связей объекта, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, т. е. сохранение основных свойств при различных внешних и внутренних воздействиях, обеспечивается адаптационными возможностями [1, 15, 27]. В представленных лингво-комбинаторных моделях адаптационные возможности систем определяются числом произвольных коэффициентов в структуре эквивалентных уравнений, и наибольшая структурная стабильность достигается в зоне адаптационного максимума, который обнаруживается у различных систем с числом переменных больше шести [15]. Для удержания систем в зоне адаптационного максимума можно использовать различные методы: рост числа переменных, наложение и снятие ограничений, объединение систем в коллективы. Действительно, если имеем две системы

$$S1 = C_{n1}^{m1+1}; S2 = C_{n2}^{m2+1}, \quad (2.17)$$

то путем наложения общих ограничений $mcol$ получим коллектив

$$Scol = C_{n1+n2}^{m1+m2+mcol+1}. \quad (2.18)$$

При этом в зависимости от конкретных параметров может быть $Scol > S1 + S2$, когда объединение в коллектив приводит к росту адаптационных возможностей, а может быть $Scol < S1 + S2$, когда адаптационные возможности меньше суммы адаптационных возможностей исходных систем. Наличие неопределенности в структуре системы, т. е. произвольных коэффициентов, позволяет реализовать различные механизмы самоорганизации.

Эффект коллектива необходимо учитывать при организации боевых действий. Как показывает анализ современных войн в Ираке, Афганистане и Чечне, группы слабо вооруженных и плохо обученных людей оказываются часто эффективнее хорошо вооруженных армий. Эти группы используют стайную тактику ведения боевых действий. Под стаей понимается децентрализованная слабосвязанная организация боевых единиц, не имеющая четко выраженного командования, но объединенная общей целью в соответствии с уравнением (2.18).

Наличие феномена адаптационного максимума в жизненном цикле различных сложных развивающихся систем позволяет объяснить эволюцию систем в условиях изменяющейся среды. Феномен адаптационного максимума является основой самоорганизации в природе и обществе. Структура неопределенных коэффициентов задает матрицу картины мира, в рамках которой и разыгрываются различные события. Произвольные коэффициенты в структуре эквивалентных уравнений могут быть и волновыми функциями, а различные системы могут рассматриваться как квантовые макро-объекты.

Лингво-комбинаторное моделирование существенно пополняет арсенал средств моделирования и позволяет сформировать новую картину мира, которая опирается на все достижения современной науки и прежде всего информатики. Лингво-комбинаторная картина мира включает три группы переменных: явления (Appearances), смыслы (Essences), структурированную неопределенность (Structural Uncertainty), – из которых состоят все неживые и живые системы. Лингво-комбинаторное моделирование – это математический аппарат постнеклассической науки. На уровне неклассической науки был введен наблюдатель, на уровне постнеклассической науки введен управитель. Ниже рассматриваются лингво-комбинаторные модели из различных отраслей знаний.

2.3. Кибернетическая физика

Н. Винер, возродив кибернетику как управление и связь в живых организмах, машинах и социально-экономических системах, остановился, как перед священной коровой, перед физикой. Но за последние годы накопилось много нерешенных проблем, например, до сих пор не удалось установить связь с инопланетными цивилизациями. Далее, стало очевидным, что видимая часть Вселенной – это только 5%, а остальное – темная материя и темная энергия, и нет единого мнения, что это за структуры, и список нерешенных проблем можно продолжить, что побуждает к поиску новых моделей.

Перейдем к построению лингво-комбинаторных моделей атомов, при этом будем исходить из ключевых базовых понятий, которые уже сложились в науке. Рассмотрим в качестве примера атом водорода и в качестве ключевых слов возьмем слова «атом», «протон», «электрон», тогда фраза (2.1) будет иметь вид

$$\text{Atom} + \text{Proton} + \text{Electron.} \quad (2.19)$$

В эквивалентных уравнениях (2.3) – (2.5) A_1 – характеристика атома водорода, A_2 – характеристика протона, A_3 – характеристика электрона, E_1 – изменения этих характеристик соответственно. Для моделирования дейтерия используем ключевые слова «атом», «протон», «электрон», «нейтрон»:

$$\text{Atom} + \text{Proton} + \text{Electron} + \text{Neutron.} \quad (2.20)$$

После операции поляризации

$$A_1^1 * E_1 + A_2^1 * E_2 + A_3^1 * E_3 + A_4^1 * E_4 = 0,$$

и эквивалентные уравнения будут

$$\begin{aligned} E_1 &= U_1 * A_2^1 + U_2 * A_3^1 + U_3 * A_4^1; \\ E_2 &= - U_1 * A_1^1 + U_4 * A_3^1 + U_5 * A_4^1; \\ E_3 &= - U_2 * A_1^1 - U_4 * A_2^1 + U_6 * A_4^1; \\ E_4 &= - U_3 * A_1^1 - U_5 * A_2^1 - U_6 * A_3^1, \end{aligned} \quad (2.21)$$

где A_1^1 – характеристика атома дейтерия; A_2^1 – характеристика протона атома дейтерия; A_3^1 – характеристика электрона атома дейтерия; A_4^1 – характеристика нейтрона атома дейтерия; E_1 – E_4 – изменения этих характеристик соответственно. В случае атомных реакций возможно превращение дейтерия в водород посредством трансформации уравнений (2.21) в уравнения (2.4).

При наложении еще одного ограничения на переменные системы

$$A_1^2 * E_1 + A_2^2 * E_2 + A_3^2 * E_3 + A_4^2 * E_4 = 0$$

получим

$$\begin{aligned} E_1 &= U_1 * D_{23}^1 + U_2 * D_{24}^1 + U_3 * D_{34}^1; \\ E_2 &= - U_1 * D_{13}^2 - U_2 * D_{14}^2 + U_4 * D_{23}^4; \\ E_3 &= U_1 * D_{12}^3 - U_3 * D_{14}^3 - U_4 * D_{24}^3; \\ E_4 &= U_2 * D_{12}^4 + U_3 * D_{13}^4 + U_4 * D_{23}^4, \end{aligned}$$

где $D_{23}^1 = A_2^1 * A_3^2 - A_3^1 * A_2^2$ и т. д.

Аналогичным образом возможно построение лингвокомбинаторных моделей всех известных элементов таблицы Менделеева и их изотопов и возможных новых элементов. Из структуры этих моделей вытекает наличие блока управления, который может манипулировать произвольными коэффициентами, т. е. наша

модель – это модель атома с блоком управления [31], разработка которой позволит осуществлять информационное воздействие на атомы. Это еще один путь для компьютерного моделирования физико-химических реакций. При этом необходимо решать задачу верификации таких моделей применительно к конкретным системам. Следует отметить, что такое понимание атомов близко к тому, как их понимал Лейбниц. Ньютон считал, что материал состоит из твердых частиц. Лейбниц заменил их понятием монад – частиц без размеров, деталей и конфигурации, но которые обладают способностью к восприятию в различной степени.²

Лингво-комбинаторное моделирование может явиться полезным инструментом при анализе и синтезе атомно-молекулярных систем.

Представляет интерес рассмотрение вопроса о путях перехода из одной мировой точки в другую. Обычное трехмерное пространство и время образуют четырехмерный мир. Мировая точка есть обычная точка в некоторый момент времени. Ее четырьмя координатами являются декартовы координаты X, Y, Z и время t, которые будем обозначать через x1, x2, x3, x4. Событие есть физическое явление в некоторой мировой точке. Четырехмерное расстояние x9 между двумя мировыми точками x1, x2, x3, x4 и x5, x6, x7, x8, интервал, определяется как

$$c^2(x4 - x8)^2 - (x1 - x5)^2 - (x2 - x6)^2 - (x3 - x7)^2 = (x9)^2,$$

где c – скорость света, константа; (x4 – x8) – разница во времени ΔT.

Возможны различные пути перехода из одной мировой точки в другую. К сожалению, в обширном списке работ по теории относительности вопрос всего множества этих путей не исследован, что определило тупик в изучении свойств пространства и времени. Методика лингво-комбинаторного моделирования может быть использована для изучения и этой проблемы.

После дифференцирования вышеуказанного уравнения можно построить систему эквивалентных уравнений с произвольными коэффициентами, число которых в данном случае будет 36, и они могут быть использованы для задания различных движений. Можно задать сближение мировых точек по различным законам, в том числе по законам квантовой телепортации или по законам Ньюто-

² См.: Лейбниц Г. В. Монадология: Соч. в 4 т. М.: Мысль, 1982. Т. 1. С. 413–429.

на, и исследовать, как влияет тяготение и другие силы на время и пространство и на поведение нанороботов. Возможно перемещение нанороботов в настоящее время из прошлого или будущего. Сходство нанороботов с вирусами позволяет предполагать, что и вирусы могут проникать в наше настоящее как из прошлого, так и из будущего, что представляется важным для здравоохранения.

Является экспериментальным фактом то, что мозг состоит из нервных клеток – нейронов, которые связаны между собой через их отростки – аксоны. По первоначальной гипотезе, по аксонам передаются электрохимические импульсы, которые несут информацию. Но электрохимические импульсы довольно медленные, и если оценить их суммарное быстроедействие, то его явно не хватает для решения колоссальных задач по переработке потока зрительной и слуховой информации, которая непрерывно поступает через глаза и уши. Можно высказать другую гипотезу: нейроны – это квантовые машины со всеми присущими им возможностями квантовых вычислителей (колоссальное быстроедействие), квантовой криптографии (доступность информации только родственникам) и телепортации (возможность сверхбыстрой передачи другим нейронам, скорость этой передачи многократно превосходит скорость электрохимической передачи). На пути исследования нейронов как квантовых машин стоят большие трудности, это низкотемпературные машины, в отличие от тех квантовых машин, которые традиционно рассматриваются в физике.

В настоящее время поставлена задача создания нанороботов, которые могли бы манипулировать атомно-молекулярными структурами, как строя из этих структур наносооружения, так и разбирая наносооружения по мере надобности. Уже имеется большой опыт создания человекоразмерных робототехнических систем, отработаны их алгоритмы функционирования при манипулировании различными предметами, при сборке и разборке различных машин и сооружений [15, 16]. Переход на наноразмеры оказывается непростым делом. Химия представляет очень большой спектр веществ, из которых могли бы синтезироваться нанороботы, и для сокращения этого списка и выбора подходящих веществ как раз и нужно выработать необходимые и достаточные условия синтеза нанороботов. Для решения этой задачи прежде всего необходим единый язык описания как атомно-молекулярных структур, так и алгоритмов функционирования будущих нанороботов. Такой общий язык описания предлагается методом лингво-комбинаторного моделирования [3].

Наноструктуры должны понимать естественный язык. Сегодня имеется множество барьеров между человеком и наноструктурами. Лингво-комбинаторное моделирование поможет преодолеть эти барьеры в физике, химии, биологии и других науках.

В наноструктурах одна из главных проблем – это проблема сборки. Наноробот должен взять атом и перенести его в другое место, по сути дела перевести его из одной мировой точки в другую. В качестве исходного рассмотрения можно взять механическую трехзвенную руку манипулятора, который может переносить предметы из одной точки в другую, где X_1, X_2, X_3 и X_4, X_5, X_6 – координаты концов первого жесткого звена длиной L_1 ; X_4, X_5, X_6 и X_7, X_8, X_9 – координаты концов второго жесткого звена длиной L_2 ; X_7, X_8, X_9 и X_{10}, X_{11}, X_{12} – координаты концов третьего жесткого звена длиной L_3 , тогда исходные уравнения трехзвенной руки манипулятора будут

$$\begin{aligned}(X_1 - X_2)^2 + (X_2 - X_5)^2 + (X_3 - X_6)^2 &= L_1^2; \\(X_4 - X_7)^2 + (X_5 - X_8)^2 + (X_6 - X_9)^2 &= L_2^2; \\(X_7 - X_{10})^2 + (X_8 - X_{11})^2 + (X_9 - X_{12})^2 &= L_3^2\end{aligned}$$

и эквивалентные уравнения будут содержать

$$S = C_n^{m+1} = C_{12}^4 = 792$$

произвольных коэффициентов. Некоторые молекулы имеют примерно такое же количество произвольных коэффициентов, именно среди них и необходимо искать те вещества, из которых можно синтезировать наноробота, который мог бы переносить атом из одного места в другое.

Таков аналитический путь выбора веществ для синтеза нанороботов.

В качестве итогов нашего рассмотрения можно сформулировать необходимые условия для синтеза наноробота: сложность веществ, из которых синтезируется наноробот, должна быть больше сложности реализуемых нанороботом алгоритмов.

В качестве достаточного условия существования наноробота в изменяющейся среде необходимо, чтобы наноробот находился в зоне адаптационного максимума. Тогда он сможет в полной мере использовать свои возможности и обеспечить свою выживаемость в максимально возможной зоне изменений окружающей среды. Наличие произвольных коэффициентов и возможность расшире-

ния модели, возможность включения новых переменных, новых ключевых слов позволяют настраивать модель для моделирования сложных наноструктур.

В связи с развитием информатики рассматривают три главные структуры – материю, энергию и информацию. В физике обычно рассматривают методы трансформации на основе изменения материи и энергии, но наибольший интерес представляет трансформация на основе информации, без больших затрат энергии и материи.

В многопроцессорных системах также важной является проблема сборки вычислительной структуры из отдельных процессоров для решения конкретной задачи. Во всех вышеперечисленных системах слова, переменные A , могут ассоциироваться с отдельными процессорами и соответствующие эквивалентные уравнения могут задавать эти вычислительные структуры. Таким образом, каждой из физических, биологических или социально-экономических систем могут быть сопоставлены соответствующие вычислительные структуры, которые и являются их компьютерными моделями со структурированной неопределенностью.

Время разделения наук по отдельным специальностям заканчивается, наступает время интеграции, и для этого есть прекрасный инструмент – вычислительные системы.

Рассмотрим вопрос о применении лингво-комбинаторного моделирования к основным законам физики с целью выявить дополнительные аспекты.

Одна из основных формул специальной теории относительности связывает полную энергию E , массу m и импульс p свободной частицы и имеет вид

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4. \quad (2.22)$$

После дифференцирования этого уравнения получим

$$2EdE/dt - 2pc^2dp/dt - 2mc^4dm/dt = 0, \quad (2.23)$$

и после синтеза эквивалентных уравнений

$$\begin{aligned} dE/dt &= -U_1pc^2 - U_2mc^4; \\ dp/dt &= -U_1E - U_3mc^4; \\ dm/dt &= U_2E + U_3pc^2. \end{aligned} \quad (2.24)$$

Этот закон рассматривает взаимодействие трех величин:

Энергия + Импульс + Масса – это исходная фраза для лингво-комбинаторного моделирования, и система эквивалентных урав-

нений будет аналогична системе (2.5). Здесь A_1 , E_1 – энергия и ее изменение; A_2 , E_2 – импульс и его изменение; A_3 , E_3 – масса и ее изменение. Если сравнить уравнения (2.24) и (2.25), то разница – лишь в отсутствии скорости света.

Закон Ома рассматривает взаимодействие трех величин: Напряжение + Сила тока + Сопротивление – это исходная фраза для лингво-комбинаторного моделирования, и система эквивалентных уравнений будет также аналогична (2.5), но здесь A_1 , E_1 – напряжение и его изменение; A_2 , E_2 – сила тока и его изменение; A_3 , E_3 – сопротивление и его изменение.

Если исходить из традиционной формулы закона Ома

$$U = I \cdot R, \quad (2.25)$$

то после дифференцирования получим

$$dU/dt - R \cdot dI/dt - I \cdot dR/dt = 0. \quad (2.26)$$

Сравнивая уравнения (2.1) и (2.26), получим в традиционных обозначениях $A_1 = U$, $E_1 = dU/dt$, $A_2 = I$, $E_2 = dI/dt$, $A_3 = R$, $E_3 = dR/dt$, а из необходимости совпадения первого уравнения системы (2.1) и уравнения (2.26) получим $U_1 = dR/dt$, $U_2 = dI/dt$, в итоге система (2.1) преобразуется к виду

$$\begin{aligned} dU/dt &= dR/dt \cdot I + dI/dt \cdot R; \\ dI/dt &= -dR/dt \cdot U + U_3 \cdot R; \\ dR/dt &= -dI/dt \cdot U - U_3 \cdot I. \end{aligned} \quad (2.27)$$

Итак, как очевидно из этих уравнений, два последних являются дополнением к закону Ома. Аналогичным образом можно рассмотреть закон Ньютона $F = ma$ и другие физические законы.

2.4. Кибернетическая астрономия и астрофизика

В процессе эволюции человечество создавало самые различные артефакты – здания, дороги, машины и т. д., но самым значительным артефактом, им созданным, является естественный язык, который вобрал и вбирает все знания, навыки, учения, созданные людьми на сознательном и подсознательном уровне. Поэтому очевидно стремление обратиться к естественному языку для того, чтобы глубже понять, как устроена Вселенная [42, 43, 65].

Люди издревле наблюдали и изучали космос, который безусловно влиял на их развитие. Успехи астрофизики за последние годы впечатляющи, но открытый феномен темной материи и темной энергии не получил теоретического объяснения, а то, что человечество изучило – это 5% от всей массы и энергии. Так что имеется необходимость в разработке новых моделей. Растет осознание астероидной опасности, т. е. опасности столкновения нашей планеты с большим астероидом. По мере исследования астероидного пояса обнаруживаются все новые виды неустойчивостей, и вычисляемая вероятность такого столкновения растет. На Земле остались следы прошлых столкновений, которые послужили источником глобальных катастроф. Заключенные российско-американские соглашения по борьбе с астероидной опасностью могут позволить объединить усилия держав по использованию всего ракетно-ядерного арсенала для предотвращения столкновения, но только с астероидами относительно небольших размеров. Если размеры астероида будут превышать 10 км в диаметре, всей объединенной мощи не хватит для предотвращения катастрофы. Выход один – усилить фундаментальные исследования для открытия новых закономерностей.

Если обратиться к моделированию Солнечной системы, то в качестве ключевых слов можно взять Солнце, Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон – 10 переменных, в структуре эквивалентных уравнений этой системы будет содержаться 45 произвольных коэффициентов:

$$E1 = U1*A2 + U2*A3 + U3*A4 + U4*A5 + U5*A6 + \\ + U6*A7 + U7*A8 + U8*A9 + U9*A10;$$

$$E2 = - U1*A1 + U10*A3 + U11*A4 + U12*A5 + U13*A6 + \\ + U14*A7 + U15*A8 + U16*A9 + U17*A10;$$

$$E3 = - U2*A1 - U10*A2 + U18*A4 + U19*A5 + U20*A6 + \\ + U21*A7 + U22*A8 + U23*A9 + U24*A10;$$

$$E4 = - U3*A1 - U11*A2 - U18*A3 + U25*A5 + U26*A6 + \\ + U27*A7 + U28*A8 + U29*A9 + U30*A10;$$

$$E5 = - U4*A1 - U12*A2 - U19*A3 - U25*A4 + U31*A6 + \\ + U32*A7 + U33*A8 + U34*A9 + U35*A10;$$

$$E6 = - U5*A1 - U13*A2 - U20*A3 - U26*A4 - U31*A5 + \\ + U36*A7 + U37*A8 + U38*A9 + U39*A10;$$

$$\begin{aligned}
E7 &= -U6*A1 - U14*A2 - U21*A3 - U27*A4 - U32*A5 - \\
&\quad -U36*A6 + U40*A8 + U41*A9 + U42*A10; \\
E8 &= -U7*A1 - U15*A2 - U22*A3 - U28*A4 - U33*A5 - \\
&\quad -U37*A6 - U40*A7 + U43*A9 + U44*A10; \\
E9 &= -U8*A1 - U16*A2 - U23*A3 - U29*A4 - U34*A5 - \\
&\quad -U38*A6 - U41*A7 - U43*A8 + U45*A10; \\
E10 &= -U9*A1 - U17*A2 - U24*A3 - U30*A4 - \\
&\quad -U35*A5 - U39*A6 - U42*A7 - U44*A8 - U45*A9. \quad (2.28)
\end{aligned}$$

В этой системе уравнений $A1$ – характеристика Солнца; $E1$ – изменение этой характеристики; $A2$ – характеристика Меркурия; $E2$ – изменение этой характеристики; ...; $U1, U2, \dots, U45$ – произвольные коэффициенты, наличие которых определяет возможность управлять характеристиками. Выявление этой новой возможности управления важна для человечества ввиду астероидной опасности. Единственная надежда – на открытие новых способов управления планетарными процессами. Аналогичным образом можно моделировать галактики и их взаимодействия. Обратимся к анализу предложенной модели.

Во-первых, когда мы говорим о системе, это значит, что из всего мы выделяем часть – систему и рассматриваем ее взаимодействие с тем, что осталось, – с окружающей средой. Так же и с Солнечной системой – мы выделили планеты и можем рассматривать как взаимодействие между ними, так и воздействие остального космоса на всю Солнечную систему. Солнечная система существует в потоке переменных воздействий остального космоса, и ее устойчивость зависит от ее адаптационных возможностей, которые определяются числом произвольных коэффициентов. В данном случае это число 45, в общем случае оно определяется формулой (2.5). Как очевидно из этой формулы, в зависимости от числа наложенных ограничений для числа переменных больше шести количество произвольных коэффициентов будет сначала возрастать, достигнет максимума и потом будет уменьшаться. Это явление в теории систем называется феноменом адаптационного максимума [1–3], в зоне адаптационного максимума система обладает максимальными адаптационными возможностями. Можно предположить, что в процессе эволюции адаптационные возможности Солнечной системы изменяются в соответствии с формулой (2.5), что можно подтвердить или опровергнуть соответствующими исследованиями. Формула (2.5) может

быть основой для объяснения ритмов развития как Солнечной системы в целом, так и Солнца в частности, и галактических систем.

Во-вторых, в качестве ключевых слов для построения модели мы взяли сами планеты, которые можно наблюдать, т. е. это феноменологическая модель. Люди, наблюдая планеты, для объяснения их движения создали целую систему понятий, в частности для объяснения их движения были привлечены законы Ньютона, которые оперируют понятиями «сила», «масса», «ускорение», «скорость». Опираясь на эти понятия как на ключевые слова, можно нашим методом построить другую лингво-комбинаторную модель, которая бы определила взаимодействие между этими понятиями. Таким образом, можно рассматривать два языка – язык феноменологического описания и язык научных теорий, и попытаться осуществить перевод с одного языка на другой, а можно замешать в общую структуру как сами явления, так и научные понятия, что и определит взаимодействие между ними.

В-третьих, о прямых и обратных задачах. Прямая задача связана с моделированием следствия по заданной причине. В обратной задаче мы хотим восстановить причину по известному следствию. Прямая задача имеет единственное и устойчивое к малым возмущениям решение. Для обратной задачи единственность решения может нарушаться, так как различные причины могут вызвать одно и то же следствие. Если обратиться к движению планет, которое наблюдается людьми много тысяч лет, то этот феномен может быть по-разному объяснен. Существовала система Птолемея, потом были открыты законы Кеплера, потом законы Ньютона. Если считать за причину законы Ньютона, то исходя из них можно рассчитать траектории движения планет. Но исходя из других соображений тоже можно получить такое же движение планет, такой же феномен. Это обратная задача, которая имеет множество решений [34]. Лингво-комбинаторное моделирование позволяет построить множество различных генераторов таких же движений.

В-четвертых, в современной науке и в обществе в настоящее время получили большое распространение понятия «управление», «информация», и они пронизывают биологические (от генетики до высшей нервной деятельности), социально-экономические, технические науки, но эти понятия, можно сказать, исключены из физики, и астрономии в частности. Конечно, и астрономия, и физика сформировались довольно давно, когда понятия «управление» и «информация» не были разработаны, но в настоящее время вызы-

вает недоумение отсутствие этих понятий при объяснении многих астрономических и физических явлений. Если исходить из этой точки зрения, то насущной задачей астрофизики должен быть поиск центров управления, систем связи и самой возможности управления малыми воздействиями, вызывающими большие последствия в планетарных и галактических системах. В настоящее время рассматривается вопрос о создании кибернетической физики, в которой вопросы управления займут достойное место.

Уже существует гипотеза Гея, в которой рассматривается вся планета Земля как живая система. Можно высказать гипотезу о живой Вселенной со своей нервной системой.

Историки науки часто обращаются к анализу суда инквизиции над Галилеем. По этому поводу К. Поппер в книге «Логика и рост научного знания» писал, что епископ Оснандер в своем предисловии к книге Коперника «Об обращении небесных сфер» заметил, что гипотезы Коперника не обязательно должны быть истинными или хотя бы правдоподобными – от них требуется лишь одно – давать вычисления, согласующиеся с наблюдениями. Сам Галилей подчеркивал превосходство системы Коперника в качестве инструмента для вычислений, но в то же время он допускал и даже верил, что она дает истинное описание мира, и для него и для церкви это было гораздо важнее. В наши дни понимание физической науки, выдвинутое Оснандером, кардиналом Белармино и епископом Беркли, одержало неожиданную победу без всякого сопротивления с другой стороны, инструменталистская точка зрения вдруг стала общепризнанной догмой. Галилей был прощен судом инквизиции, а Джордано Бруно был сожжен на костре за то, что провозглашал существование множества миров, множества вселенных. Если рассматривать мир как модель внутри сверхмашины, то эта точка зрения допускает существование многих миров внутри сверхмашины, и чтобы переходить из одного мира в другой нужно быть талантливым хакером.

В-пятых, еще в Древней Греции Анаксимандром была высказана гипотеза о существовании апейрона – субстанции, которая пронизывает вся и все. В свете развиваемой нами теории, апейрон – физическая символическая структура, которая реализует структурированную неопределенность в виде произвольных коэффициентов U , субстанции U . Структурированной неопределенности противостоит хаос – неструктурированная неопределенность. Структурированная неопределенность – основа жизни во Вселенной. В свете

развиваемой теории, вакуум – это непрерывно перестраиваемая матрица структурированной неопределенности, в которой заполнение матрицы идентифицируется с назначением конкретных значений произвольных коэффициентов U . Перед астрономами и астрофизиками стоит задача обнаружения центров управления планетарными и галактическими системами. Эти идеи перекликаются с идеями К. Э. Циолковского, 150-летие со дня рождения которого мы отмечаем в 2007 г.

2.5. Кибернетическая метеорология

Предсказанием погоды люди занимались с незапамятных времен. В настоящее время стало очевидным, что атмосфера Земли – сложная самоорганизующаяся система, находящаяся под воздействием Солнца и других факторов. К настоящему времени предсказанием погоды занимается мощная международная система, опирающаяся на сеть наблюдательных пунктов во всех районах земли и в космосе, на использование самых мощных суперкомпьютеров и сетей. Точность прогнозов существенно повысилась, но необходимость в совершенствовании ощущается остро, поэтому рассмотрим возможности лингво-комбинаторного моделирования в этом направлении.

Если обратиться к моделированию атмосферы, то в качестве ключевых слов можно взять метеорологические элементы – «температура», «давление воздуха», «влажность воздуха», «скорость ветра», «направление ветра», «облачность», «осадки», «видимость (прозрачность атмосферы)», «температура почвы», «температура поверхности воды» – 10 переменных. В структуре эквивалентных уравнений этой системы будет содержаться 45 произвольных коэффициентов, аналогично системе (2.28). Только здесь принято: A_1 – характеристика температуры воздуха; E_1 – изменение этой характеристики; A_2 – характеристика давления; E_2 – изменение этой характеристики; ... Выявление возможности управления важна для подстройки модели и для управления погодой. Вышеназванные метеорологические элементы характеризуют локальную погоду, при глобальном рассмотрении метеорологических явлений используют другие ключевые слова – циклоны, антициклоны, фронты, вихри, торнадо и др.

Предсказывая погоду люди, базировались на самых различных представлениях о природных явлениях и их взаимодействии, но

атмосфера – очень сложная система, и все ее описания принципиально содержат большую неопределенность, что и объясняет неточность прогнозов, которые вырабатываются на суперкомпьютерах.

2.6. Системная кибернетическая биология

ДНК и человеческая речь обладают стратегически близкой фрактальной структурой. Сознание – одно из основных понятий физиологии, социологии, психологии, а теперь – и компьютерных наук. По определению БСЭ, оно означает способность идеального воспроизведения действительности и специфические механизмы и формы такого воспроизведения на разных уровнях. Но с точки зрения компьютерных наук сознание – это и механизмы генерации новых структур, в частности, виртуальных миров.

Является анатомическим фактом то, что мозг состоит из двух полушарий, каждое из которых выполняет свои функции. Эти функции довольно подробно изучены путем наблюдения за людьми с повреждениями различных частей мозга.

Левое полушарие мозга отвечает за обучение, правое – за воспитание; левое функционирует на основе модели левого полушария, которая является дискретной, правое – на основе модели правого полушария, которая является непрерывной, левое осуществляет психологическую защиту своего «мы» на основе осознанных стереотипов, правое – своего «я» на основе подсознательных барьеров. Именно в левом полушарии сосредоточено то, что мы называем сознанием, которое оценивает социальную значимость наших поступков, а в правом – то, что мы называем подсознанием, которое оценивает личную значимость наших поступков.

Высшие психические функции – восприятие, внимание, память, эмоции, мышление по-разному функционируют в левом и правом полушариях. Восприятием называется отражение в психике человека предметов или явлений при их непосредственном воздействии на его органы чувств, при этом формируются образы, с которыми оперируют внимание, память, мышление, эмоции. Восприятие левого полушария отвечает на вопрос «там» и «тогда», работает со сжатием шкал во времени и пространстве. Восприятие правого полушария отвечает на вопрос «здесь» и «теперь», оперирует в реальном времени и пространстве.

Память – это процесс запечатления, сохранения и воспроизведения следов прошлого опыта, она дает возможность сохранить целесообразное поведение на длительные интервалы времени и прогнозировать будущее. Память левого полушария семантическая, классифицированная, произвольная, правого – эпизодическая, контекстная, произвольная.

Эмоции – процессы, отражающие личную значимость и оценку внешних и внутренних ситуаций в жизни человека в форме переживаний. Наиболее существенные черты эмоций – субъективность, ситуативность, обобщенность, направленность. Эмоции бывают положительные и отрицательные и различаются степенью напряженности. Эмоции левого полушария – это рефлексия, правого – эмпатия, глобальная оценка значимости событий.

Язык – средство общения, делающее доступным познанию не только те объекты, с которыми достижимо реальное взаимодействие. Речь выступает как способ организации своего и чужого поведения и как орудие анализа внешней среды, поскольку слово, с одной стороны, выделяет предмет из среды, давая ему имя, а с другой – включает его в категорию сходных. Собственно речь и ее вербальные компоненты анализируются в основном в левом полушарии, а невербальные – жесты, мимика, интонации – в основном в правом. Только совместная работа полушарий позволяет всесторонне обработать поступающую информацию.

Побудителем разворачивания процесса мышления служит проблемная ситуация – рассогласование между искомым результатом и имеющимися в памяти стратегиями достижения чего-то подобного. Анализ проблемной ситуации порождает вопросы, которые приводят к ответам, а ответы – это уже суждения, вскрывающие отношения, значимые в проблеме. Становится необходимым перевод проблемы с языка слов и символов на язык образов и обратно, что позволяет увидеть проблему как бы с разных сторон, выделить в ней инварианты и тем самым продвигает ее решение. Левополушарное мышление – дискурсивное, понятийное, здесь работает формальная логика и вычисляются рекурсивные признаки объекта – локальные, обобщенные, позиционные, анализируются фигуры. Правополушарное мышление – интуитивное, чувственное, образное, здесь работает динамическая логика и формируются целостные представления об объекте – сложность, скелет, симметрия, фон.

Всем своим опытом, всей своей жизнью человек формирует у себя некую модель мира (виртуальный мир), в которой представ-

лен и он сам. Эта модель является центральной частью психической жизни человека и состоит из следующих блоков: высших психических функций; структуры ценностей, включая мотивы, цели, установки, идеалы, нормы; цензуры и системы психологической защиты (барьер). В правом и левом полушариях формируются разные модели мира, взаимодействие этих моделей – основа работы мозга. В норме это взаимодействие носит циклический характер, когда доминирование одного полушария сменяется доминированием другого.

Управляет психическими процессами личность – высшее психическое образование. Она осуществляет это управление на основе образа Я, образа мира, моделей мира. Особенности личности проявляются в мотивах, установках, целенаправленности поведения, ценностях.

В настоящее время создаются компьютеры, которые могли бы моделировать и левое, и правое полушария и взаимодействия между ними.

На состоявшейся в декабре 2009 г. сессии Российской академии наук были рассмотрены проблемы моделирования мозга и отмечалась большая сложность проблемы. В мировой науке нет единого мнения по поводу того, что такое сознание. В итоге выделяются три структуры: аппаратная (brain), программная (mind) части и сознание (consciousness).

Человеческий мозг – очень сложная система. Можно высказать гипотезу, что когда в мозгу созревает мысль и возникает желание ее высказать, например, произнести фразу (2.1), включается операция поляризации, формируется генератор нервных сигналов, которые обрабатываются аппаратом артикуляции, произношения, и звучит устная речь. Или включается генератор для управления руками, и человек фиксирует свою речь письменно.

Можно рассмотреть модель ментальных процессов более высокого уровня. Обычно ментальные процессы характеризуются ключевыми словами «восприятие», «внимание», «память», «мышление», «язык», «эмоции», «управление движениями», и тогда структура эквивалентных уравнений будет иметь вид (1.14), где A_1, \dots, A_7 – характеристики восприятия, внимания, памяти, мышления, языка, эмоций, управления движениями; E_1, \dots, E_7 – изменение этих характеристик соответственно. Уравнения (1.14) определяют взаимодействие между различными составляющими ментальных процессов в рамках нашей модели. Из этой модели вытекает необ-

ходимость в блоке управления для манипуляции произвольными коэффициентами, который можно считать аналогом высшей психической структуры – личности.

Для построения другой модели ментальных процессов можно исходить из структуры естественного языка, и если он содержит сто тысяч различных слов, то мозг человека в соответствии с формулой (2.7) будет содержать такое количество произвольных коэффициентов, порядок которого совпадает с количеством нейронов мозга. Можно высказать предположение, что нейроны в мозгу – это и есть субстанция произвольных коэффициентов, субстанция U, которая пронизывает все и вся. Развитие естественного языка приводит к развитию субстанции U, к усилению человеческих возможностей по управлению. Ментальные процессы являются частью целостного организма.

В качестве следующего примера рассмотрим моделирование организма. Организм человека – очень сложная система, которую можно рассматривать на уровне молекул, клеток, органов. Для лечащего врача важно рассматривать организм прежде всего на уровне органов, и при построении лингво-комбинаторной модели мы будем исходить из общепринятого набора органов: «органы движения (кости, мышцы, связки)», «органы пищеварения», «органы дыхания», «мочеполовые органы», «кровенворная и лимфатическая системы», «центральная нервная система», «периферийная нервная система», «железы внутренней секреции», «кожа и сенсорные системы». Уравнение организма будет содержать девять переменных

$$A1 * E1 + A2 * E2 + \dots + A9 * E9 = 0, \quad (2.29)$$

а структура эквивалентных уравнений будет иметь вид

$$E1 = U1 * A2 + U2 * A3 + U3 * A4 + U4 * A5 + U5 * A6 + \\ + U6 * A7 + U7 * A8 + U8 * A9;$$

$$E2 = - U1 * A1 + U9 * A3 + U10 * A4 + U11 * A5 + U12 * A6 + \\ + U13 * A7 + U14 * A8 + U15 * A9;$$

$$E3 = - U2 * A1 - U9 * A2 + U16 * A4 + U17 * A5 + U18 * A6 + \\ + U19 * A7 + U20 * A8 + U21 * A9;$$

$$E4 = - U3 * A1 - U10 * A2 - U16 * A3 + U22 * A5 + U23 * A6 + \\ + U24 * A7 + U25 * A8 + U26 * A9;$$

$$E5 = - U4 * A1 - U11 * A2 - U17 * A3 - U22 * A4 + U27 * A6 + \\ + U28 * A7 + U29 * A8 + U30 * A9;$$

$$\begin{aligned}
E6 &= -U5*A1 - U12*A2 - U18*A3 - U23*A4 - U27*A5 + \\
&\quad + U31*A7 + U32*A8 + U33*A9; \\
E7 &= -U6*A1 - U13*A2 - U19*A3 - U24*A4 - U28*A5 - \\
&\quad - U31*A6 + U34*A8 + U35*A9; \\
E8 &= -U7*A1 - U14*A2 - U20*A3 - U25*A4 - U29*A5 - \\
&\quad - U32*A6 - U34*A7 + U36*A9; \\
E9 &= -U8*A1 - U15*A2 - U21*A3 - U26*A4 - U30*A5 - \\
&\quad - U33*A6 - U35*A7 - U36*A8, \tag{2.30}
\end{aligned}$$

где U_1, U_2, \dots, U_{36} – произвольные коэффициенты, которые могут быть использованы для настройки модели; A_1 – характеристика органов движения; E_1 – изменение этой характеристики, и т. д. В модели может использоваться большее количество органов, но тогда она будет менее наглядна. Вопрос выбора главных органов для моделирования решают медики. Следует заметить, что характеристики каждого из органов меняются со временем – от характеристики ребенка через характеристики взрослого человека до характеристик пожилого, таким образом может моделироваться процесс старения. Эта модель (рис. 2.6) используется в страховой медицине

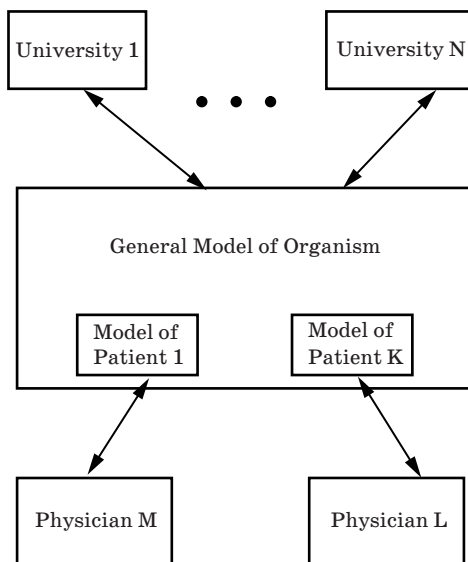


Рис. 2.6. Взаимодействие между блоками модели

[23]. Главная цель моделирования организма – уменьшить количество врачебных ошибок, из-за которых в настоящее время, например в США, погибает свыше 100 тыс. чел., что является юридическим фактом.

2.7. Электронный паспорт здоровья на основе компьютерной модели организма

Ниже на основе результатов многолетней интеллектуальной деятельности по моделированию организма как целостной системы приводится соответствующая структура электронного паспорта здоровья, реализация которого позволит повысить качество здравоохранения при уменьшении затрат.

В настоящее время наше здравоохранение базируется на рукописной медицинской карте, которая не содержит даже фотографии больного. Эта карта является уникальным документом, который не может дешевым способом передаваться из одного медицинского учреждения в другое, что приводит к повторению многочисленных анализов и дополнительным расходам. За рубежом накоплен опыт применения «electronic medical registers» и даже получен положительный экономический эффект от их внедрения. Так, в США заказ лабораторных и рентгеновских исследований уменьшен на 9–14%, дополнительные расходы снижены до 8%, а количество госпитализаций – примерно на 2%. Избыточное потребление лекарств при этом уменьшилось на 11%.

Разработки по созданию электронных паспортов здоровья активно ведутся в Российской Федерации уже несколько лет и одобрены правительством. Данные системы кое-где уже предлагаются как коммерческие продукты. основным носителем информации являются флэш-карты. Анализ предложенных моделей электронных паспортов выявил несколько серьезных проблем, на некоторые указывают сами их авторы:

- большая сумма затрат, связанная с необходимостью тотальной компьютеризации медицинских учреждений;
- обучение медицинского персонала пользованию этими системами при традиционно невысоком уровне компьютерной грамотности в данной отрасли;
- увеличение нагрузки на персонал, связанное с необходимостью заносить информацию в электронные карты.

Но, по нашему мнению, проблемы электронной паспортизации являются еще более глубокими.

– Предложенные системы – это по сути обычные объединенные амбулаторные и стационарные истории болезни, представленные в более удобной форме хранения в виде электронной базы данных. Тем самым они абсолютно не решают проблему качества вносимых материалов, учитывая, что данные будут поступать от медицинских учреждений и медицинских работников абсолютно разного уровня.

– Основой предложенных систем являются диагнозы, поставленные в различных медицинских учреждениях, не исключена ситуация конфликтов этих заключений, что обычно для медицинского сообщества.

– Не понятно, как предложенные электронные паспорта здоровья, используя компьютер только как регистратор, помогут врачу в принятии врачебных решений, если учесть, что в массе случаев врач все равно в большей степени ориентируется на 2–3 симптома и интуицию, исходящую из собственного опыта.

– Отсутствие ограничения по хранению любого количества информации. У многих больных она накопится в таком объеме, который вряд ли может быть полноценно проанализирован врачом, что будет приводить к игнорированию специалистом части данных с опасностью пропуска важных.

Таким образом, предложенные системы вполне могут использоваться для контроля за деятельностью медицинских учреждений государством и страховыми компаниями, давать общие статистические данные, но вряд ли решат основную проблему правильности и своевременности принятия врачебных решений, так как направлены преимущественно на хранение и представление информации в рамках стандартных протоколов записей в медицинских документах. Проблема анализа в принципе может быть решена. Проблема синтеза при данном подходе – никогда.

Переход количества, т. е. огромного числа медицинских данных, в качество, т. е. принятие лучшего врачебного решения, возможно только при использовании компьютера в качестве создателя модели каждого пациента на основе заложенной единой модели человеческого организма.

Данный подход сразу нивелирует разброс мнений и грубых ошибок при получении данных, так как они просто будут блокироваться невозможностью сосуществования в единой электронной модели.

Данная система позволит четко выделять основные наиболее важные моменты, анализируя ситуации в целом, т. е. будет отвечать основному девизу врачей «Лечить человека, а не диагноз». Очень важно то, что при моделировании исчезают рамки, установленные определенной медицинской школой, классификацией или особенностями страны. А это реально позволит организовать сеансы телемедицины без границ в соответствии с рекомендациями ВОЗ.

Рассмотренная глобальная компьютерная модель организма может работать как в целом, так и в рамках отдельных специальностей, при этом отдельные модели можно объединять в системы, позволяющие ликвидировать разрозненность специалистов и создавать «электронного семейного врача». Данная система не будет представлять социальной угрозы для медиков, так как при ней значение узких специалистов будет только возрастать, поскольку именно они будут источником факторов, в том числе новых. Таким образом, основная тенденция развития современной медицины в виде все большей специализации и детализации не будет представлять опасности для пациентов, которых неправильно оценят на уровне первичного звена, что является самой частой проблемой. Необходимо также учитывать, что неминуемое развитие специализаций и сложность медицинских процессов однозначно приведут к снижению уровня работы семейных врачей из-за невозможности отслеживать растущие в геометрической прогрессии технологии.

Структура паспорта здоровья представляется следующим образом
Все вносимые параметры в паспорт будут делиться на:

- не требующие повторного внесения: пол, год рождения, генетические маркеры;
- переменные: антропометрия, симптомы, средовые факторы и т. д.

В модели необходимо предусмотреть возможность перманентного обновления факторов.

Для примера в модель «Ортопедия» будут вложены следующие группы факторов.

Паспортные данные, например, помимо возрастных особенностей и статистики поражений в этой возрастной группе, будут давать для модели на основе места проживания информацию о экологической обстановке и наиболее частых по статистике заболеваниях по количеству обращений в этой местности.

Генетические факторы дадут информацию и вероятности системных заболеваний с ортопедическими проявлениями.

Антропометрические данные – вычислять риск осложнений, учитывая соотношения веса-ростовых показателей или нарушения соотношения длин и окружностей сегментов тела.

Вовлеченные **органы** опорно-двигательного аппарата будут учитывать типичные сочетания поражений.

Симптомы автоматически объединятся в симптомокомплексы.

Доказанные факторы влияния других систем будут учитывать вторичное поражение опорно-двигательного аппарата на фоне поражения других органов.

Средовые факторы должны учитывать характер травмы, профессиональную вредность, вредные привычки и т. д.

Совокупность полученных факторов будет создавать многомерную модель, гарантирующую рамки для принятия врачебных решений. Итак, на основе новейших достижений мировой медицинской науки, генетики, кибернетики, информатики и современного системного анализа, как результат многолетней интеллектуальной деятельности разработан инновационный проект «Электронный паспорт здоровья на основе компьютерной модели организма», внедрение которого позволит существенно поднять уровень здравоохранения при уменьшении расходов на эту сферу. Начинать необходимо с родильных домов, постепенно накапливая банки данных о здоровье людей и вовлекая в этот процесс все большее количество медицинских учреждений. В качестве носителя и синхронизатора информации предлагается использовать мобильный телефон.

Разработка электронного паспорта здоровья является частью целевой межотраслевой программы модернизации системы физической культуры и спорта для сохранения психофизического здоровья детей и подростков г. Санкт-Петербурга. Эта программа разработана Санкт-Петербургской государственной педиатрической академией, сетью спортивно-оздоровительных клубов OLYMPIC, Санкт-Петербургской ГОУ СОШ № 235 им.Д. Д. Шостаковича и ГУАП. Она базируется на разработанной глобальной модели организма, на использовании электронного паспорта здоровья и системы кибернетических велосипедов, разработанных в ГУАП. В проекте сформулирована масштабная задача интеграции медицинского лечебно-восстановительного блока с принципиально новым модулем социально-ориентированной профилактики для реализации основополагающего фактора национальной идеологии – сбережение и развитие человеческого ресурса – здоровья человека.

Изложенная модель базируется на западном представлении об организме. Но существовала и развивается восточная медицина с очень своеобразным делением организма на подсистемы, при этом в Индии используется одно представление об организме, а в Китае – другое. Наряду с официальной медициной существует так называемая народная медицина. Наши знания об организме содержат очень большую неопределенность, что и позволяет сосуществовать различным представлениям об организме и различным методам лечения. В свое время Э. Шредингер написал книгу «Что такое жизнь? С точки зрения физики», в наши дни необходимо написать книгу «Что такое жизнь с точки зрения кибернетики и информатики».

На всем пути своего исторического развития физически человек практически не изменился. Объем мозга и количество извилин в среднем одинаковы и при рабовладельческом строе, и в нашем информационном обществе. Существенно изменился лишь объем информационных ресурсов человечества. Эти ресурсы фактически определяют уровень жизни и психическую энергию людей.

2.8. Экономическая кибернетика

Кризис капиталистического производства, свидетелями и участниками которого мы стали, заставляет задуматься о законах развития экономики. В учении Адама Смита о богатстве народов сказано: «Человек постоянно нуждается в помощи своих ближних, и тщетно было бы ожидать ее только от их благоволения. Он скорее достигнет своей цели, если призовет себе в помощь их эгоизм... Дай мне то, что мне нужно, и ты получишь то, что необходимо тебе...», ибо человек «...преследует собственную выгоду, причем в этом случае невидимой рукой направляется к цели, которая совсем не входила в его намерения». Все это хорошо, пока равнодействующая частных эгоизмов – она же невидимая рука рынка – выводит в плюс. Сапожник тачает сапоги, пирожник печет пироги, сапоги и пироги обмениваются на 1 сюртук и 20 аршин холста, богатство народов, направляемое невидимой рукой, растет.

Во время кризиса, когда богатство народов рушится, сапожник и пирожник, а в еще большей степени кузнец и слесарь остаются без работы, ибо некому сбывать плоды своих трудов, гораздо реже слышны похвалы невидимой руке, хотя она никуда не делась. Рав-

нодействующая частных эгоизмов действует – куда сложились векторы, туда и сложились, и случаются времена, когда все указанные Адамом Смитом предпосылки остаются в силе, богатство же народов не умножается, но идет в распыл. Невидимость руки рынка сохраняется – без войны, без чумы или землетрясения заводы, дороги, стройки обращаются в мерзость запустения, невидимая рука рынка превращается в когтистую лапу, и вся надежда – на человеческую солидарность и коллективизм. В рамках национальной солидарности от чистоты рыночных отношений остается немного. Например, протекционизм делается неизбежным в силу солидарности и осознания «свой своему поневоле брат». Заграница может поставить ряд товаров более дешевых и лучшего качества, но заграница не обещает кормить наших безработных и поддерживать нашу внутреннюю покупательную способность. Государство вынуждено вводить пошлины и поддерживать своего производителя. И еще острее стоит вопрос о законах развития социально-экономических систем, которые со времен Адама Смита существенно изменились.

Проведем лингво-комбинаторное моделирование социально-экономических систем.

Для примера рассмотрим проблему моделирования города.

Если в качестве ключевых слов взять «население», «пассионарность», «территория», «производство», «экология и безопасность», «финансы», «внешние связи», то в соответствии с вышеизложенной методикой уравнение города будет аналогично уравнению (2.29):

$$A1 * E1 + A2 * E2 + \dots + A7 * E7 = 0,$$

а эквивалентные уравнения будут иметь вид

$$\begin{aligned} E1 &= U1 * A2 + U2 * A3 + U3 * A4 + U4 * A5 + U5 * A6 + U6 * A7; \\ E2 &= - U1 * A1 + U7 * A3 + U8 * A4 + U9 * A5 + U10 * A6 + U11 * A7; \\ E3 &= - U2 * A1 - U7 * A2 + U12 * A4 + U13 * A5 + U14 * A6 + U15 * A7; \\ E4 &= - U3 * A1 - U8 * A2 - U12 * A3 + U16 * A5 + U17 * A6 + U18 * A7; \\ E5 &= - U4 * A1 - U9 * A2 - U13 * A3 - U16 * A4 + U19 * A6 + U20 * A7; \\ E6 &= - U5 * A1 - U10 * A2 - U14 * A3 - U17 * A4 - U19 * A5 + U21 * A7; \\ E7 &= - U6 * A1 - U11 * A2 - U15 * A3 - U18 * A4 - \\ &\quad U20 * A5 - U21 * A6, \end{aligned} \tag{2.31}$$

где $A1$ – характеристика населения, которая включает в себя характеристики здоровья, образования, занятости; $A2$ – характери-

стика пассионарности; устремлений групп населения, люди обладают свободой выбора при принятии решений, и этот выбор является важным, что оценивается путем социологического анализа; А3 – характеристика территории, включая наземные и подземные постройки, этот блок может быть геоинформационной системой; А4 – характеристика производства, включая оценку различных видов деятельности – научной, производственной, транспортной, торговой и др.; А5 – характеристика экологии и безопасности; А6 – характеристика финансов, финансовых потоков и запасов в городе; А7 – характеристика внешних связей города, включая оценку входящих и выходящих потоков людей, энергии, материалов, информации, финансов; E1, ..., E7 – изменения этих характеристик соответственно; U1, U2, ..., U21 – произвольные коэффициенты, которые могут быть использованы для управления и решения различных задач на многообразии (13).

Эта модель (рис. 2.7) используется в системах для поддержки принятия решений городскими властями [29].

Число блоков в лингво-комбинаторной модели города может быть различным. С точки зрения точности моделирования, чем больше блоков используется, тем лучше, но при этом ухудшается наглядность модели, ее восприятие людьми, принимающими решение. Например, если население поделить на три блока – «дети и подростки», «взрослые» и «пенсионеры», то число переменных возрастет до девяти, уравнение города будет содержать девять переменных [см. (2.29)].

При моделировании города важно рассматривать всю иерархию систем, из которых этот город состоит. Главная ячейка города – семья, для моделирования которой тоже можно использовать семиблочную модель, при этом будет изменяться содержание отдельных блоков. Любая семья имеет свое домашнее хозяйство, минимальный размер семьи – один человек, но и такая семья имеет все семь атрибутов. Аналогичным образом можно рассматривать другие семейные объединения – род, тейп, домен [3]. Семиблочная модель может быть использована при моделировании различных предприятий, на которых работают люди, при этом структура блоков для каждого из типов предприятий будет разной. Однотипность модели, которая положена в основу моделирования и семьи, и предприятий, и районов, и города в целом, позволяет проще производить анализ и синтез такой сложной системы как город.

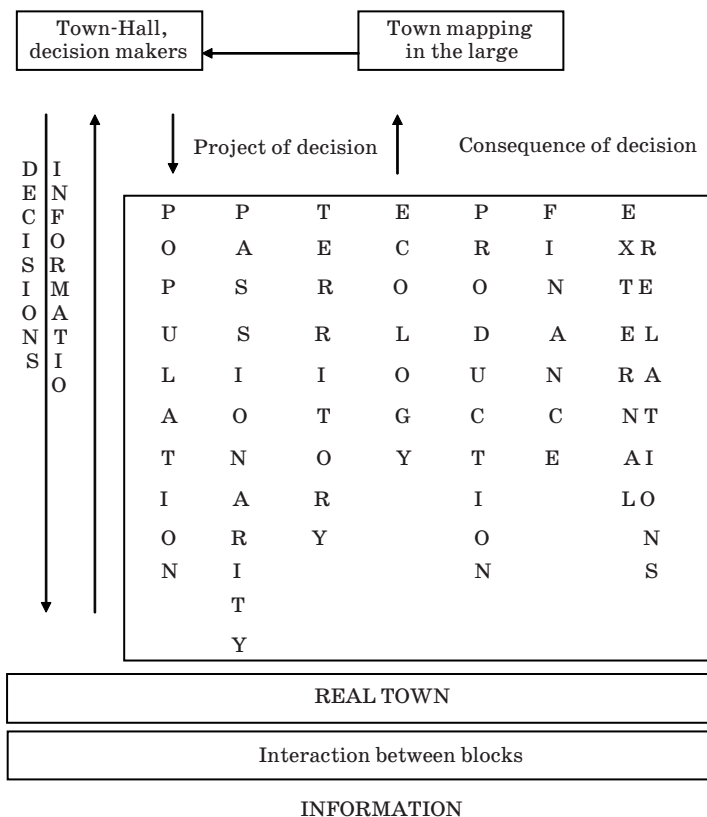


Рис. 2.7. Моделирование города для поддержки управленческих решений

В материалах статистических бюро по городам и регионам и по странам в целом имеются почти все данные, необходимые для запуска модели. Другие данные, для оценки пассионарности, можно почерпнуть из социологических опросов. Развитие информационно-вычислительной техники позволяет поставить вопрос об обязательном предварительном моделировании последствий от принимаемых решений, что позволит избежать многих ошибочных решений.

С древнейших времен складывались способы управления коллективными работами и сообществами людей. Они базировались на введении правил взаимоотношения между людьми (правил этики, морали, заповедей, законов религии, в последующем – светских

правил и правовых норм) и на создании иерархической системы управления с помощью административного аппарата. Но как отдельный человек, так и коллектив людей – это самоорганизующиеся системы, и различные способы управления – это различные методы внутреннего и внешнего управления самоорганизующейся системой. На уровне человека и социальных коллективов существует целеполагание, целеобразование. Способности системы к самоорганизации зависят от способности к целеполаганию, которая у различных людей разная. Бывают конформисты, которые готовы делать то, что делают другие, и даже готовы подчиняться целям других людей, особенно если эти цели выработал коллектив. Бывают личности с большой самостоятельностью мышления и сопротивляемостью навязываемым им мнениям. В зависимости от типа личности, менталитета народа люди могут стремиться формулировать цели единолично либо вырабатывать цели коллективно, что характерно для России. У российского народа сложилось стремление к соборности, к коллективному принятию решений на сходах всех жителей деревни, на собраниях трудового коллектива предприятий, на советах различного рода. Способ управления, основанный на участии в целеобразовании активных элементов (человека, предприятия, региона и др.), является перспективным, несмотря на свою сложность. Не все люди способны к целеобразованию и стремятся участвовать в формулировании целей. Некоторые исследователи утверждают, что активных личностей в странах около 10%, а большинство готово выполнять цели, поставленные руководством.

Различают следующие уровни целеобразования применительно к людям: 1) материальный, определяемый врожденными потребностями и программами человека (самосохранение, обеспечение питанием, минимумом одежды); 2) эмоциональный (доступные развлечения, эстетическое восприятие мира, проявление и реализация чувств любви, ненависти и др); 3) семейно-общественный (реализация программы продолжения рода, создания условий для воспитания потомства); 4) социально-общественный, определяемый правилами сообществ, закрепленных в законодательстве, этических нормах, традициях и т. п.; 5) интеллектуальный, для которого характерна система ценностей, ориентированная главным образом на развитие творческих способностей личности (примером может служить атмосфера академгородков в начальный период их развития). В связи с развитием информационных технологий и

виртуальных миров начинают выделяться два уровня: удовлетворения минимальных жизненных потребностей в реальном мире и в виртуальном мире, где человек сможет реализовать свои самые различные фантазии. Реализация этих уровней позволит смягчить гнет социального неравенства.

2.9. Кибернетическая герменевтика

В древнегреческой мифологии посредником между богами и простыми смертными был Гермес, он должен был истолковывать людям повеления богов, а богам – передавать просьбы людей. Отсюда и ведет свое происхождение термин «герменевтика», первоначально означающий искусство толкования изречений оракулов, древних текстов, знаков, смысла чужого языка и т. д. В средневековье герменевтика была неразрывно связана с теологией, с толкованием отцами церкви. Философская герменевтика возникла в середине XIX в., ее основоположником был Ф. Шлейермахер, который рассматривал герменевтику как метод всех наук о духе, доказывая, что с помощью психологического вживания можно проникнуть во внутренний мир авторов древних текстов, любых исторических деятелей и на этой основе реконструировать исторические события, понять их еще глубже, чем их осознавали сами участники. Х.-Г.Гадамер стремился отмежеваться от субъективизма своих предшественников, он провозглашает герменевтику универсальной философией нашего времени. По его убеждению, именно «в языке выражается сам мир», становится видимой та действительность, которая «возвышается над сознанием каждого отдельного человека», ибо все, что является предметом познания и высказывания, «всегда окружено мировым горизонтом языка». Для философа-структуралиста Мишеля Фуко язык – это самостоятельная «весомая и плотная реальность», в которую погружен человек и которая наряду с жизнью и трудом детерминирует его бытие. При этом язык трактуется широко и включает «немые привычки мысли», «тайный дух народов» у Фуко или «немотствующее удивление», «немую очарованность» у Гадамера. Гадамер рассматривает язык как опыт мира, как горизонт герменевтической онтологии, как среду герменевтического опыта, рассматривает формирование понятия «язык» в истории европейской мысли, язык и логос, язык и вербум, язык и образование понятий.

С появлением квантовой механики возникло мнение о том, что единого подхода в науке вообще быть не может. Это мнение отражено в высказывании одного из основоположников квантовой механики Нильса Бора о том, что описать процессы, протекающие в природе, с помощью одного языка невозможно. Необходимы разные описания, в каждом из которых яснее проявляются те или иные особенности изучаемого явления. То есть наука – это полилингвистическая система, где одновременно существуют и развиваются множества языков. С одной стороны, это правильно, но, с другой стороны, существует универсальная знаковая система – естественный язык, который может быть единой основой описания единой природы, которую люди для простоты изучают в рамках отдельных специальностей. Но, как говорят, иная простота хуже воровства, сложившаяся фрагментарная картина мира уже не устраивает людей – наблюдается мощная тенденция интеграции наук, и основой этой интеграции может быть структура естественного языка, который является мощной моделирующей системой. Предложенное лингво-комбинаторное моделирование может быть универсальным методом построения моделей с информационным управлением в самых различных отраслях науки.

Наличие возможности управления в текстах на естественном языке позволяет говорить о кибернетической герменевтике.

Язык смыслов E может быть единым для всех естественных языков с учетом идиоматики. В свое время был предложен язык эсперанто в качестве такого единого языка, но он был придуман, это один из искусственных языков, которых развелось много в эпоху компьютеризации. Язык смыслов E вычисляется из текстов на различных естественных языках, это прежде всего исчисление. В свое время Людвиг Витгенштейн мечтал об исчислении для языка в своей «Голубой книге».

В качестве примера рассмотрим перевод с одного языка на другой. Если имеем фразу на одном языке и при переводе хотим сохранить смысл этой фразы из трех слов, то

$$\text{phrase} + \text{word1} + \text{word2} + \text{word3},$$

и после введения смыслов получим

$$\begin{aligned} &(\text{phrase})(\text{sence0}) + (\text{word1})(\text{sence1}) + \\ &+ (\text{word2})(\text{sence2}) + (\text{word3})(\text{sence3}) = 0 \end{aligned}$$

или

$$A1 * E1 + A2 * E2 + A3 * E3 + A4 * E3 = 0.$$

Разрешив это уравнение относительно E, получим

$$\begin{aligned} E1 &= U1 * A2 + U2 * A3 + U3 * A4; \\ E2 &= - U1 * A1 + U4 * A3 + U5 * A4; \\ E3 &= - U2 * A1 - U4 * A2 + U6 * A4; \\ E4 &= - U3 * A1 - U5 * A2 - U6 * A3. \end{aligned} \quad (2.32)$$

На другом языке, где A' – слова на другом языке, будем иметь

$$\begin{aligned} E'1 &= U1 * A'2 + U2 * A'3 + U3 * A'4; \\ E'2 &= - U1 * A'1 + U4 * A'3 + U5 * A'4; \\ E'3 &= - U2 * A'1 - U4 * A'2 + U6 * A'4; \\ E'4 &= - U3 * A'1 - U5 * A'2 - U6 * A'3. \end{aligned} \quad (2.33)$$

Если мы хотим, чтобы смысл исходной и переведенной фраз сохранялся, то $E1 = E'1$, откуда вытекает

$$U1 (A2 - A'2) + U2 (A3 - A'3) + U3 (A4 - A'4) = 0. \quad (2.34)$$

Использование этого уравнения определяет поиск слов на другом языке, соответствующих исходному языку в словарях.

2.10. Деловая игра «Моделирование города»

На протяжении многих лет автор использовал город как объект моделирования при обучении студентов навыкам системного анализа. Такой выбор объясняется тем, что город легко доступен для наблюдения и изучения, город является сложной самоорганизующейся системой, и его изучение позволяет проиллюстрировать многие принципы управления сложными системами. Эта деловая игра занимает целый семестр и проводится с целым потоком студентов от 30 до 100 чел.

Условия игры следующие. Студентам предлагается придумать город, расположенный в любой точке земного шара и даже в космосе. В дискуссии студенты сочиняют легенду города, определяют его местоположение, численность населения, основные занятия жителей, придумывают название, герб и гимн. После этого каждый из студентов должен выбрать для разработки и анализа одну из подсистем города, например поликлинику, торговый центр, полицей-

ский участок, предприятие по производству компьютеров, транспортную контору, банк и т. д. Каждый студент должен написать реферат по выбранной подсистеме города, который бы включал следующие части: 1) вербальное описание подсистемы и ее функционирования; 2) количественное описание подсистемы с определением количества занятых в подсистеме людей, технологий, финансовых потоков и др.; 3) разработку информационно-вычислительной системы (ИВС), которая могла бы улучшить функционирование подсистемы; 4) оценку эффективности разработанной ИВС и ее стоимости; 5) связь разработанной подсистемы с другими подсистемами города. Для управления большим коллективом разработчиков-студентов создается иерархическая система управления. Студенты открытым голосованием выбирают из своей среды руководителя города – мэра, который назначает своих заместителей по различным направлениям³.

При моделировании города как сложной системы были решены три задачи: во-первых, была осуществлена декомпозиция города на подсистемы; во-вторых, создана иерархическая система для управления проектом; в-третьих, студенческий коллектив осуществил разработку всех подсистем и их интеграцию в единое целое. Итогом этой работы являются, во-первых, рефераты каждого из студентов по выбранной подсистеме, увязанные с общегородскими проблемами, они начинают чувствовать свою миссию, во-вторых, определен сбалансированный бюджет города, что сделали мэр и его заместители по городу в целом, скоординировав работу отдельных студентов по подсистемам. В результате студенты получают навык в анализе и синтезе сложных систем и навык работы в коллективе. После этой деловой игры студенты выступают на конференции по информатике и проблемам устойчивого развития [4, 78].

Контрольные вопросы

1. Основная профессиональная задача и миссия инженера по ЭВМ.
2. Лингво-комбинаторная модель (ЛКМ), число переменных 10, число ограничений 8 – построить систему эквивалентных уравнений.
3. Эволюция архитектуры ЭВМ и тенденции развития.
4. ЛКМ, число переменных 10, число ограничений 7.

³ Например, осенью 2006 г. мэром был выбран Антон Колесов.

5. Эволюция элементной базы.
6. ЛКМ, число переменных 10, число ограничений 6.
7. Нейрокомпьютинг.
8. ЛКМ, число переменных 10, число ограничений 5.
9. Квантовые компьютеры.
10. ЛКМ, число переменных 10, число ограничений 4.
11. Эволюция устройств ввода-вывода.
12. ЛКМ, число переменных 10, число ограничений 3.
13. Системы речевого общения.
14. ЛКМ, число переменных 10, число ограничений 2.
15. Системы виртуальной реальности на примере кибервелло.
16. ЛКМ, число переменных 10, число ограничений 1.
17. Эволюция операционной среды.
18. ЛКМ, число переменных 9, число ограничений 7.
19. Эволюция уровня знаний.
20. ЛКМ, число переменных 9, число ограничений 6.
21. Эволюция интерфейса общения.
22. ЛКМ, число переменных 9, число ограничений 5.
23. Языки естественные и искусственные.
24. ЛКМ, число переменных 9, число ограничений 4.
25. Лингво-комбинаторное моделирование.
26. ЛКМ, число переменных 9, число ограничений 3.
27. Феномен адаптационного максимума в развивающихся системах.
28. ЛКМ, число переменных 9, число ограничений 2.
29. Объединение в коллектив как способ адаптации.
30. ЛКМ, число переменных 9, число ограничений 1.
31. Психометрический интеллект.
32. ЛКМ, число переменных 8, число ограничений 6.
33. Левостороннее мышление.
34. ЛКМ, число переменных 8, число ограничений 5.
35. Правостороннее мышление.
36. ЛКМ, число переменных 8, число ограничений 4.
37. Архитектура виртуальных миров.
38. ЛКМ, число переменных 8, число ограничений 3.
39. Искусственный интеллект – психологические предпосылки и современное развитие.
40. ЛКМ, число переменных 8, число ограничений 2.
41. Основы теории агентов.
42. ЛКМ, число переменных 8, число ограничений 1.
43. Многоагентные системы.
44. ЛКМ, число переменных 7, число ограничений 5.
45. Виртуальные организации и миры.
46. ЛКМ, число переменных 7, число ограничений 4.
47. Структура человеческой деятельности и проблема ее автоматизации.

48. ЛКМ, число переменных 7, число ограничений 3.
49. Эволюция систем передачи информации.
50. ЛКМ, число переменных 7, число ограничений 2.
51. Основной социокультурный цикл и ЭВМ.
52. ЛКМ, число переменных 7, число ограничений 1.
53. ЛКМ, число переменных 6, число ограничений 4.
54. Моделирование города как сложной развивающейся человекома-
шинной системы.
55. ЛКМ, число переменных 6, число ограничений 3.
56. Иерархическая система для управления сложными проектами.
57. ЛКМ, число переменных 6, число ограничений 2.
58. Как компьютер играет в шахматы? Можно ли использовать ЛКМ?
59. Чем отличается игра в шахматы от игры в футбол?
60. Основные этапы развития кибернетики и информатики.
61. ЛКМ, число переменных 5, число ограничений 3
62. Что такое бионика?
63. ЛКМ, число переменных 5, число ограничений 2.
64. Что такое артоника?
65. ЛКМ, число переменных 5, число ограничений 1.
66. Бортовая вычислительная система самолета и какие задачи она ре-
шает?
67. ЛКМ, число переменных 4, число ограничений 2.
68. Бортовая вычислительная система автомобиля и какие задачи она
решает?
69. ЛКМ, число переменных 4, число ограничений 1.
70. Развитие финансовых вычислительных систем.
71. ЛКМ, число переменных 10, число ограничений 8.
72. Астрономия как колыбель вычислительных методов.
73. Космонавтика и ЭВМ.
74. Задачи автоматизации аэропорта.
75. Проблема создания робота-полицейского.
76. Глобальная модель организма для поддержки врачебных решений.
77. Эволюция архитектуры ЭВМ и тенденции развития.
78. Квантовые компьютеры.
79. Эволюция операционной среды.
80. Что такое синергетика?
81. Общий решатель проблем (General Problem Solver).

ГЛАВА 3. РОБОТЫ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Прежде чем рассматривать современное состояние робототехники, которая непрерывно развивается, хотелось сделать небольшое историческое введение.

Официально робототехника в нашей стране началась в 1972 г., когда впервые вышло специальное постановление Государственного комитета СССР по науке и технике и было предусмотрено плановое развертывание научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в целях создания широкого спектра роботов. Главным конструктором по проблеме был назначен профессор Ленинградского политехнического института Ю. И. Юревич, а его заместителями профессор Ленинградского института авиационного приборостроения М. Б. Игнатъев и др. После 1955 г., когда в нашей стране реабилитировали кибернетику, неоднократно предпринимались попытки узаконить робототехнику. И только в 1972 г. с помощью академика, адмирала А. И. Берга и Д. Ф. Устинова, который потом стал министром обороны СССР, это удалось.

Тем не менее, процесс создания роботов начался гораздо раньше, прежде всего для задач атомной промышленности. Для работы с радиоактивными веществами были созданы совершенные копирующие манипуляторы с очувствлением и обратной связью по усилию схвата, это было в конце 40 – начале 50-х гг. Жаль, что сейчас эти технологии утеряны, и их приходится восстанавливать практически с нуля.

Что же было сделано с 1972 г.? Во-первых, был разработан спектр промышленных роботов, к концу 80-х гг. было изготовлено свыше 80 тыс. промышленных роботов, которые помогли высвободить более 1 млн рабочих. Во-вторых, были созданы роботы для работ в экстремальных условиях – под водой, в космосе и т. д. В-третьих, были начаты работы по созданию боевых роботов, которые успешно продолжаются. В-четвертых, успешно проводились работы по комплексной автоматизации промышленности, были созданы гибкие автоматизированные производства, накоплен большой теоретический и практический опыт. Если говорить о прошлом опыте, то следует отметить работы на заводах Форда в начале 20-х гг., когда инженер Гилбрет выделил основные элементы рабочих движений – терблиги и приноровительные движения, что позволило сформировать стандарты Международной организации труда (МОТ), которые использовались при программировании промышленных роботов.

Уже нами были созданы языки ЛАРОТ – для роботизированного производства, язык ЛАСКИТ – для автоматизации проектирования, ЛАДЕТ – для автоматизации научных исследований и др. [16, 17, 20]. В настоящее время роботостроение – активно развивающаяся отрасль науки и техники.

3.1. Структурирование робототехнических систем

Роботы – технические системы, состоящие из трех составных частей: сенсорных структур, которые поставляют информацию об окружающей среде; вычислительных структур, которые обрабатывают сенсорную информацию и принимают решения; движителей, с помощью которых робот как целостная система может активно взаимодействовать с окружающей средой, манипулировать предметами и перемещаться, выполняя команды вычислительной структуры. Роботы могут получать от человека задания различной степени сложности и выполнять их в автономном режиме. В настоящее время в мире успешно функционируют свыше миллиона роботов. В докладе [36] представлен обзор мировой и отечественной робототехники за последние 50 лет.

Основная проблема при создании роботов различного назначения – это соотношение организованности среды и сложности роботов. В хорошо организованной среде может успешно функционировать простой робот, в плохо организованной среде успешно функционировать может лишь сложный робот с искусственным интеллектом. Организация среды требует больших затрат: чем больше будет затрачено средств на организацию среды, тем меньше будет стоить сам робот. Очень важно найти правильное соотношение между этими затратами, которое меняется в зависимости от развития технологий и достижений науки. Появление дешевых мощных компьютеров привело к реальному большому развитию робототехники во всех отраслях. Сейчас оно сдерживается медленным прогрессом в развитии движителей (электро, пневмо, гидро), параметры которых гораздо хуже биологических мышц. Это привело к созданию нового класса роботов – биороботов, когда биологическая структура снабжается встроенными чипами, через которые осуществляется управление биоструктурой. В качестве биоструктур используются насекомые, змеи, рыбы, дельфины – все животные вплоть до человека. Для охраны границ

уже сейчас используются лошади, верблюды и страусы со встроенными чипами, что позволяет им точно выполнять указания людей в течение нескольких часов. Вместо встроенных чипов сейчас используют специальные системы виртуальной реальности для животных [36].

Важен анализ структуры работ, для выполнения которых строятся роботы. В этом направлении сделано немало: это и формирование конвейера Форда, стандарты МОТ, языки ЛАРОТ, ЛАДЕТ, ЛАСКИТ и др., и артоника (исследование структур искусства на предмет использования их в технике), и мотив – функции В. Я. Проппа и 25 функций исполнителей-администраторов (поиск, препятствование, запрет, совершение ошибки, дача обещаний, преодоление препятствия, достижение искомого, нарушение запрета, соперничество, обман, выведывание, требование (настояние), арбитраж, обмен, выбор, вредительство, помощь, соблазн или устрашение, подчинение, единомыслие, единство действий, воздаяние, перемена места деятельности, устранение противника, уход) [17].

К робототехнике примыкают задачи искусственного интеллекта, но люди до сих пор не разобрались, что такое естественный интеллект [35, 36]. В физиологии и психологии сложилось представление о шести уровнях интеллекта. Самый нижний уровень А – уровень палеокинетических регуляций, который реализует простейшие защитные реакции. Далее следует уровень В – уровень синергии, который регулирует перемещение организма как целого. Третий уровень С – пространственное поле, который обеспечивает ориентацию в ближайшем окружении. Четвертый уровень D – уровень действия, который обеспечивает регуляцию предметных действий. Пятый уровень E – уровень концептуальных структур, который обеспечивает фиксацию и дополнение концептуальной картины мира. Шестой уровень F – метапознавательный уровень, который обеспечивает перестройку концептуальной модели мира, это уровень функционирования творческих людей. Современная компьютеризированная техника освоила уровни А, В, С, D – это и управляемые ракеты, и адаптивные роботы, и сложные автоматизированные системы. Уровни E и F наименее изучены, их-то и считают зоной интеллекта – естественного, искусственного или комбинированного, гибридного. Но для того чтобы разобраться с интеллектом, прежде всего нужно исследовать естественный язык, который хорошо доступен для наблюдений и экспериментов. Выше приведен материал по лингво-комбинаторному моделированию,

которое может быть использовано при управлении сложными системами.

Робот – неперенный персонаж самых различных произведений искусства, от Франкенштейна до последних фильмов «Я – робот» и «Аватар». Самое слово «робот» пришло из пьесы К. Чапека и происходит от славянского «робота». Идеи робототехники проникают в общество прежде всего через искусство, и роботы населяют виртуальные миры. Роботы в виде аватаров являются главными действующими лицами различных виртуальных миров. Слово «аватар» значительно более древнего санскритского происхождения и означает «нисхождение». В индуистской религии утверждается, что каждый бог обитает во множестве тонко и грубо материализованных тел, но только одно из них является подлинным, верховным, все же остальные суть нисхождения, или аватары. В настоящее время слово аватар прочно вошло в кибернетику и информатику. Робот, аватар, агент – это помощники человека в поддержании здоровья, обучении, работе и развлечениях. Возникли многоагентные системы. Робот – это партнер в сексуальных играх, на этом строится многомиллионный бизнес. РОБОТ – это плод человеческого воображения.

Создание систем автоматизации и различных роботов – это в основном эмпирика. Но эмпиризм питается воображением – сначала человек осуществляет мысленный эксперимент, потом строит машину или робота. Далее следует важная фаза осмысления содеянного, и вот тут важна роль философии. Философия направлена на выработку обобщенной системы взглядов на мир, на место в нем человека, и можно добавить – на выработку взглядов на место роботов в мире. В этой связи интересно рассмотреть монадологию Лейбница [12]. Реальный мир, по Лейбницу, состоит из психических деятельных субстанций, неделимых первоэлементов бытия – монад, которые находятся между собой в отношении предустановленной гармонии. В силу этой гармонии развитие каждой из них находится в соответствии с развитием других монад и всего мира в целом. Деятельность монад состоит в смене восприятий (перцепций) и определяется индивидуальным стремлением (апперцепцией) монады к новым восприятиям. Хотя вся деятельность монады исходит имманентно из самой монады, она в то же время есть развертывание изначально заложенной в монаде индивидуальной программы. Монады образуют восходящую иерархию сообразно тому, насколько ясно они представляют мир. В этой иерархии особое место занимают мона-

ды, которые способны не только к восприятию (перцепции), но и к самосознанию, апперцепции; к ним Лейбниц относил души людей. Мир физический, как считал Лейбниц, существует только как несовершенное, чувственное выражение истинного мира монад, как феномен познающего мир человека. Как очевидно, монадология сильно перекликается с современной теорией агентов и роботов. Интересным является пересечение с философией персонализма, где на первый план выдвигается человеческая личность во всей полноте ее конкретных проявлений, в ее неповторимой индивидуальности. Личность превращается в фундаментальную онтологическую категорию, в которой волевая активность, деятельность сочетается с непрерывностью существования.

Интересен пример первого симфонического ансамбля Моссовета – оркестра без дирижера [14]. Основной принцип – творческая активность каждого артиста ансамбля.

Важен введенный Жаком Деррида термин «деконструктивизм» (разбор, разнесение некой конструкции). Его основная идея заключается в том, что мы имеем дело не с реальностью, а с реальностями, которые описываются разными языками. Есть политическая реальность, экономическая реальность, символическая, сновиденческая... И возникает такой момент, когда языки, описывающие реальность, начинают отставать от реальности, которую представляют, скрывают, уводят от нее. Тогда и требуется аппарат деконструкции, освобождение реальности из-под гнета ложных презентаций. Поэтому творчество Деррида вызывало гнев у консервативной части философского истеблишмента – ведь он подрывал основы профессиональной философии. История его работ, его опытов деконструкции – череда скандалов. Политики и масс-медия создают язык, который описывает политическую действительность. И то, что не вписывается в этот языковой мейнстрим, в эту болтовню узнаваемого – отвергается. Главным тезисом становится – «этого не надо говорить, потому что мы знаем, что нужно говорить». В результате у нас нет журналистики. Потому что и журналисты, и политики говорят на одном и том же языке.

Следует остановиться на некоторых сторонах управления движениями биологических объектов. Движению живого существа (в частности, человека) присущ целостно-связный характер действия. Одним и тем же совокупностям сигналов с сенсорных систем могут соответствовать самые разнообразные двигательные реакции. Это явление существует на всех уровнях биологической системы управ-

ления движениями и явно выражено в явлениях экстраполяции, интерполяции и антиципации⁴ [16].

Следует указать также на вариативность действий человека, которая проявляется во взаимозаменяемости поз и траекторий движения биологических объектов.

В экспериментальной психологии описаны две формы обобщенности двигательного поведения – обобщенность ответов и действия при переходе из одной ситуации в другую. Под обобщенностью ответов подразумевают то общее, что проявляется в различных вариациях движений, направленных на выполнение одной и той же цели. А под обобщенностью действий понимают то общее, что проявляется при движениях, направленных на достижение разных целей. Обобщенность действий является проявлением особенностей программирования движений.

Все эти особенности построения движений находят свое суммарное выражение во взаимозаменяемости исполнительных органов при выполнении движений, т. е. одна и та же программа движений может быть выполнена различными исполнительными органами. Например, писать можно правой, левой рукой или же с помощью ног. При этом основные особенности почерка индивидуума сохраняются. Универсальность функционирования имеет место на всех уровнях поведенческих актов – начиная от манипулятивной деятельности и кончая функциями человека-оператора как управляющего звена системы человек – машина. Границы универсальности определяются лишь временными характеристиками переработки информации, пределами пространственной досягаемости и энергетическими ограничениями. Никаких других ограничений универсальности действий со стороны жесткой конструкции нервной и скелетно-мышечной системы обнаружить нельзя. Именно из универсальности вытекает огромный, практически неисчерпаемый диапазон возможностей ручного труда.

Вариативность и универсальность управления движениями обеспечивает высокую надежность функционирования биологической системы, позволяя реализовать множество различных вариантов двигательного решения и свободно заменить почему-либо не осуществимый вариант действия другими. Надежность связана с той или иной формой запасных возможностей, т. е. с избыточностью.

⁴ Антиципация – представление человеком результатов своего действия еще до его осуществления.

Введение организованных помех, снижающих процесс распознавания букв перцептивным устройством на 85%, оказывает совершенно ничтожное воздействие на деятельность человека. Последний в этих условиях сохраняет почти полную помехоустойчивость. Недостаточная локальная точность достижения цели при отсутствии сигналов с датчиков является слабым местом биологических систем управления движениями. Величина отдельных координат может быть выдержана при движении биологических систем лишь весьма приблизительно. Локальная точность таких систем составляет примерно 5–10% от величины динамического диапазона.

Все эти особенности построения движений в биологических системах четко проявляются в таких действиях, как перемещение с помощью ног. Ходьба и бег по пересеченной местности являются апофеозом приспособительных возможностей биологических систем.

3.2. Основные уровни управления поведением робота

При ручном управлении манипулятором без посредничества вычислительной машины человек-оператор с помощью специального корсета или ручек управления посылает сигналы на приводы механической руки, заставляя ее тем самым выполнять различные движения. Этот наиболее распространенный способ управления, называемый управлением в коде движений, является очень сложным для человека-оператора. Оператор быстро утомляется, а точные движения вообще не может выполнять.

При отсутствии визуальной информации о перемещениях руки манипулятора (необходимость работы в таких условиях имеет место довольно часто) качество управления резко ухудшается, несмотря на информацию от других датчиков.

Применение вычислительной машины позволяет существенно облегчить управление манипулятором. Роль оператора в этом случае сводится к управлению в коде команд, когда, нажимая соответствующие кнопки, он посылает команды типа *взять*, *перенести* и т. д. При использовании вычислительной машины для этих целей естественно возникает понятие об уровнях управления. В разработанных в настоящее время программах можно выделить три уровня [16, 79].

Входные программы первого, низшего уровня задают значения каждой из координат степеней подвижности исполнительного ор-

гана робота. Низший уровень формирует управления приводами степеней подвижности.

Входными командами второго уровня являются команды, задающие различные движения рабочему инструменту, закрепленному на конце манипулятора. Такими командами могут быть: *привести инструмент в положение (a)*, *переместить инструмент в направлении (x)* и т. п. Частные случаи этих команд: *найти*, *взять*, *перенести*, *положить*, *открыть дверцу*, *навинтить гайку*. При этом *взять* можно только найденный или указанный предмет, *перенести* можно только взятый предмет, *положить* можно только взятый или перенесенный предмет, *взять* можно либо одной, либо двумя, либо тремя руками и т. д. С помощью вычислительной машины осуществляется расшифровка этих команд и их перевод на входной язык низшего уровня.

Входными командами третьего, высшего уровня являются сложные команды типа *построить сооружение*, *разгрузить судно* и т. п. На этом наименее разработанном уровне должна осуществляться сложная логическая обработка информации об окружающей среде, положении робота и рабочих предметов. На выходе этого уровня имеем набор входных команд для второго уровня.

Информация о взаимном расположении частей манипулятора, о соприкосновении с окружающими предметами используется на всех уровнях. Человек-оператор осуществляет управление на высшем уровне и имеет возможность вмешиваться в управление и на других уровнях.

Задачи управления первого уровня решаются в рамках традиционной теории автоматического регулирования с учетом особенностей привода и конструкции роботов. Второй уровень, называемый тактическим, является своеобразным генератором управляющих сигналов для низшего уровня управления.

Третий уровень назовем стратегическим уровнем управления. Его разработка связана с исследованием поведения сложных систем. Для решения задач на этом уровне привлекаются различные методы эвристического программирования и теории игр. При этом оказывается возможным использовать результаты исследования поведения людей в различных ситуациях. Хотя кибернетика развивается, ее методы и аппарат едва приоткрыли дверь в мир социальных явлений и процессов, протекающих на фоне столкновения действий, идей и чувств.

Первая работа, в которой были сформулированы некоторые принципы научного анализа действий в конфликтных ситуациях, –

книга фон Неймана и Моргенштерна «Теория игр и экономическое поведение» – вышла в 1944 г. и до сих пор не потеряла своего значения. Но теоретико-игровая модель конфликта ограничена. Она не может выявить природу конфликта, скрытые пружины человеческой деятельности в различных ситуациях.

Классическая трагедия и серьезный роман по-прежнему остаются одним из источников наших знаний о человеческом поведении. И именно в рамках художественной литературы появились первые произведения, описывающие поведение роботов. Принадлежащие перу Э. Т. Гофмана, М. Шелли, К. Чапека, А. Азимова и других писателей книги могут служить источником моделей поведения роботов и их взаимоотношения с людьми. Еще предстоит тщательно изучить всю литературу о роботах: от народных сказаний и былин до самых последних романов, где роботы уже прочно стали неотъемлемой деталью производственной и бытовой среды близкого будущего.

3.3. Лингвистический подход к анализу уровневой структуры системы управления роботов

Характерной особенностью сложных систем управления является иерархичность их структуры и наличие управляющих воздействий, связанных с переработкой большого количества информации. В связи с этим перед теорией сложных систем ставится задача математического описания состояния управляемых элементов, передачи информации, процессов ее переработки, выдачи управляющих сигналов и т. п.

Если пользоваться обычными методами математического описания функционирования элементов таких систем, то получающиеся соотношения будут чрезвычайно сложны, громоздки и труднообозримы. Поэтому в настоящее время наиболее целесообразным методом анализа сложных систем представляется моделирование на вычислительных машинах процессов их функционирования. Но применение вычислительных машин не ограничивается только анализом сложных систем, ЭВМ оказываются незаменимыми и при синтезе сложных систем управления.

Система управления роботом-манипулятором – типичный пример сложной системы, имеющей иерархическую структуру. Наиболее общим подходом для анализа и синтеза подобных систем является лингвистический подход.

Перечислим основные черты лингвистического подхода применительно к широкому классу сложных систем. Во-первых, в структуре системы выделяются отдельные уровни, описываемые каждый своим языком со своим словарем и грамматическими правилами. Во-вторых, процесс достижения цели системой рассматривается как процесс перевода с языка одного уровня на язык другого уровня. В-третьих, для количественной характеристики этого процесса вводятся понятия изоморфного и гомоморфного переводов, идиоматики различных языковых уровней, неопределенности задания, меры сложности перевода с одного уровня на другой и т. д.

Например, сложность автоматизации проектирования или производства каких-либо объектов определяется затратами на перевод с соответствующих уровней. Затраты на перевод во многом определяются объемом трансляции. Чтобы уменьшить сложность трансляции, пытаются разрабатывать по возможности близкие языки.

С помощью тех или иных последовательностей правил и ограниченного алфавита символов может быть построено огромное число грамматически правильных слов (или фраз) на языке k -го уровня, каждое из которых представляет собой некоторую команду управления, которая должна быть передана на более низкий уровень.

Задача передачи команды управления с одного уровня на другой будет заключаться лишь в переводе слова, записанного на языке одного уровня, на язык другого уровня.

Для этого необходимо иметь еще и транслятор, т. е. правила перевода с одного языка на другой. Если иерархическая система управления состоит из t уровней, то она должна иметь t словарей, t грамматик и $t - 1$ транслятор.

При рассмотрении лингвистической структуры алгоритмов управления роботами-манипуляторами следует разделить языки управления на две большие группы: «входные языки» и «языки программирования». Разница между этими языками такая же, как между правилами пользования радиолой или магнитофоном и нотной записью. Входной язык позволяет выбрать пластинку и нажать соответствующие кнопки, язык программирования должен обеспечить возможность записи или исполнения того или иного музыкального произведения.

Рассмотрим кратко входные языки для роботов. Наиболее подходящим, на первый взгляд, является ограниченный естественный язык – русский, английский и т. п. Однако ограниченный естественный язык удобен человеку, но не вычислительной машине. Ученые,

работающие в области связи человека с вычислительной машиной, считают, что общение на естественных языках неудобно, кроме прочих причин, из-за того, что для разговора машин, сконструированных в разных странах, необходимы машины-полиглоты, понимающие различные языки. Особенно неудобны для связи наиболее распространенные языки – русский и английский.

В связи с этим Б. Б. Гурфинкель предложил построить единый «родной язык машин» и придать ему некоторую фонетическую структуру. Основные свойства этого языка следующие: 1) в основу фонетики положены открытые слоги – *ба, ду, ми* и т. п.; 2) во избежание фонетической неопределенности глухие и звонкие слоги типа *со* и *зо*, должны быть равнозначными; 3) отношение между словами должно выражаться не суффиксами и окончаниями, а с помощью служебных частиц.

По-видимому, не всегда удобно отдавать роботу приказания на естественном языке. Часто сложная двигательная задача значительно проще может быть выражена с помощью рисунка. В связи с этим представляют интерес графические языки для записи движений человека, используемые в хореографии (кинетография Р. Лабана, мотография А. П. Валышева и др.) [16].

Известен метод общения человека с вычислительной машиной при помощи «светового пера». Человек может рисовать на экране рисунки, писать слова, фразы, и вся эта информация будет автоматически вводиться в память вычислительной машины.

Вот при такой связи с ЭВМ и удобно использовать графические (иероглифические) языки для записи движений роботоманипуляторов. Человек-оператор сможет прямо на экране записывать движения робота, которые вслед за этим будут выполняться автоматически.

По своей структуре входные языки можно разбить на ранги (или уровни). К низшему рангу относятся языки, позволяющие описывать движения в коде операций (например, *правая нога на 10 см вперед*), языки иероглифического типа и т. п. Запрограммировать сложное задание с помощью входного языка низшего ранга чрезвычайно сложно. Для этого предназначены языки более высоких рангов, позволяющие отдавать команды в обобщенном виде: *погрузить все ящики размером 10·50·100 на автомашину*. Чем выше ранг входного языка, тем больше неопределенности в формулировке задания. В нашем примере робот может начинать поиск соответствующих ящиков слева, справа или с середины и т. п. Если

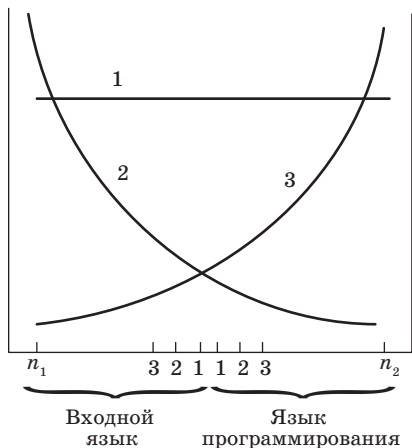
бы задание роботу выдавалось на языке самого низкого ранга, то было бы указано, откуда надо начинать поиск ящиков, каким образом их брать, по какой траектории переносить на автомашину и т. д.

Перейдем к рассмотрению языков программирования роботов, т. е. языков, с помощью которых составляются различные подпрограммы поведения роботов. Эти языки совершенно не обязательно знать пользователю, так же, как пользователю вычислительной машиной не обязательно знать структуру стандартных подпрограмм, имеющих в библиотеке стандартных программ данной ЭВМ, а достаточно лишь уметь к ним обращаться.

Языками программирования роботов могут быть любые математические языки – язык дифференциальных уравнений, язык теории конечных автоматов, язык исчисления предикатов и т. п. С их помощью решаются задачи определения оптимальных траекторий при движении робота от одной точки пространства к другой, обхода препятствий, управления движениями нескольких рук. Так же, как и входные, языки программирования можно разделить на ранги (или уровни). При этом к языкам высшего ранга относятся наиболее сложные языки для программирования двигательных задач. Тогда к языку самого высокого ранга следует отнести язык кода движений.

Если рассматривать какую-либо определенную задачу, то неопределенность в формулировке задания будет наибольшей для входного языка высшего ранга и наименьшей для языка программирования.

Действительно, задача отыскания, например, всех кубиков с ребром не более 5 см очень неопределенна, и ее можно решать самыми различными способами. Та же задача, записанная на входном языке низкого ранга, имеет меньшую неопределенность (передвигать схват направо до конца стола; если встретится препятствие, определить, куб ли это; если это куб, то превышает ли его ребро 5 см и т. д.), и совсем небольшой будет неопределенность при записи задачи в коде движений (правда, записать такую задачу в коде движений, например с помощью изменений углов между сочленениями, практически невозможно). Обратная зависимость получается для количества знаков, используемых при формулировке того же задания. Очень сложное задание можно выразить на входном языке высшего ранга буквально несколькими словами или даже знаком (иероглифом), в то время как на язы-



*Рис. 3.1. Диаграмма изменения неопределенности:
1 – смысловое содержание задания; 2 – неопределенность
в формулировке задания; 3 – количество знаков в формулировке задания*

ке кода движений количество знаков стремится к бесконечности (рис. 3.1).

Большой интерес представляет мощность языка данного уровня. Будем считать, что язык уровня k более мощный, чем язык уровня $(k - 1)$, если одна команда языка уровня k переводится в несколько команд уровня $(k - 1)$. Это значит, что оператор, задав какую-либо команду на языке k -го уровня, может предоставить ЭВМ выбрать лучшую команду $(k - 1)$ -го уровня. При этом возникают следующие трудности. Задачи перевода команд с одного уровня на другой могут чрезвычайно загрузить ЭВМ, что, естественно, отрицательно сказывается на системе управления роботом. Разумный выход из этого положения – дать человеку-оператору возможность заранее разбить задачу на некоторые подцели, что резко уменьшит число анализируемых альтернатив. Очевидно, что с увеличением мощности команд загрузка ЭВМ вычислительной работой растет.

Кроме того, команды могут стать настолько громоздкими (обширными), что человеку-оператору станет чрезвычайно трудно их использовать. В настоящее время еще нет общего метода для разрешения этих трудностей, но для отдельных проблемно-ориентированных систем разработаны языки разных уровней, хорошо согласованные друг с другом.

3.4. Робот как многоцелевая система с избыточностью

Как было отмечено выше, характерной чертой биологических систем является их универсальность, которая достигается за счет избыточности. Механические руки робота тоже предназначены для выполнения многих работ, поэтому их кинематические схемы содержат значительно большее число степеней подвижности, чем то, которое необходимо для выполнения какой-либо работы.

На рис. 3.2 изображена кинематическая схема руки манипулятора, где x_i, y_i, z_i – координаты шарниров. Каждый шарнир имеет одну или две угловые степени подвижности. Осуществление движения в каждой из степеней подвижности производит изменение положения конечной точки руки манипулятора (схвата с инструментом) так, чтобы выполнить ту или иную работу: завинтить гайку, взять предмет и перенести его в заданное место и т. д.

Для выработки сигналов, управляющих приводами руки манипулятора, необходимо построить ее математическую модель. Система алгебраических уравнений с переменными – координатами шарниров и может быть такой моделью:

$$(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2 + (z_i - z_{i+1})^2 = l_i^2, \quad i = 0, 1, \dots, n,$$

где l_i – длины соответствующих стержней; n – число стержней. Определение координат шарниров в функции от координат схвата x_4, y_4, z_4 , которые обычно задаются с верхнего уровня управления, и составляет главную задачу управления манипулятором. Для ее решения необходимо решать приведенную выше систему уравнений, в которых число переменных больше числа уравнений связи. Анализ различных систем типа манипулятор показывает, что они описываются системами конечных уравнений. Разница между числом переменных n и числом уравнений m , т. е. $n - m$, называется естественной избыточностью таких систем.

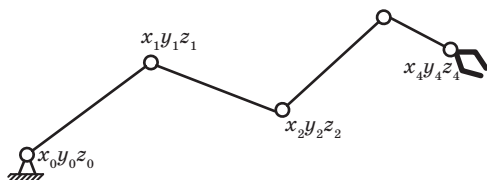


Рис. 3.2. Кинематическая схема манипулятора

Одна из главных и наиболее трудных задач при создании роботов-манипуляторов, управляемых ЭВМ, – это разработка алгоритмов управления роботами. При этом необходимо учитывать, что в этой задаче рассматриваются системы с естественной избыточностью, что позволяет использовать метод избыточных переменных для управления этими системами на некоторых уровнях иерархической системы управления. И автоматический манипулятор, и шагающая машина, представляющая собой очевидное развитие манипулятора применительно к решению задачи перемещения, являются многоцелевыми системами. Например, управление механическими ногами может быть нацелено на выполнение различных заданий: в одном случае это преодоление рва, в другом – перешагивание через барьер, в третьем – бег по ровной дороге. Поэтому, прежде чем переходить к анализу структуры управления этими системами, попытаемся сформулировать некоторые общие принципы использования избыточности в многоцелевых системах.

Во-первых, это принцип концентрации усилий, в соответствии с которым многоцелевая система мобилизует все свои ресурсы для достижения какой-то одной конкретной цели. При этом элементы системы, предназначенные для использования при достижении других целей, выступают как избыточные и используются для улучшения качественных показателей решения основной задачи. Этот принцип совпадает с принципом доминанты, который наблюдается в живых системах.

Во-вторых, принцип неоднородности, в соответствии с которым многоцелевая система может существовать только как многоуровневая структура, между уровнями которой существуют отношения подчиненности. Иерархическая структура не может быть реализована в однородной структуре. Наглядной иллюстрацией этого принципа может быть решение задачи построения движений у человека и животных.

В-третьих, принцип перемены цели в качестве средства приспособления к окружающей среде. В противоположность одноцелевым системам многоцелевые системы имеют большие преимущества благодаря возможности изменять цель в соответствии с изменяющейся обстановкой. Особенно эффективно этот принцип реализован в вычислительных системах с разделением времени, в которых задачи заказчиков пропускаются через процессор таким образом, чтобы обеспечить максимальную производительность.

Следующий – принцип совместимости, по которому, во-первых, различие в целях каждого уровня не может быть слишком большим, цели должны частично пересекаться, и, во-вторых, уровни многоцелевой системы должны быть совместимы по языку, т. е. должна быть возможность перевода с одного уровня на другой.

Наконец, принцип ведущего слабого звена, по которому если в системе для достижения цели объединяются слабые и сильные звенья, то для максимального использования всех возможностей сильные звенья подстраиваются под слабые, так как адаптационные возможности последних меньше. Например, если в шагающей машине частично вышла из строя одна из ног, то именно она должна играть ведущую роль в алгоритме управления всеми ногами, так как только в этом случае оказывается возможным использовать оставшиеся исправными степени подвижности поврежденной ноги.

На практике эти принципы могут быть реализованы с помощью эвристических приемов. Но если имеется математическая модель, то их реализация облегчается. Например, принцип концентрации усилий реализуется с помощью сведения задачи достижения цели к достижению глобального экстремума, для чего система должна допускать интерпретацию в виде экстремальной модели. При программировании манипулятора это приводит к минимизации расстояния между схватом манипулятора и точкой цели, при этом движение осуществляется на пересечении многообразий, заданных кинематикой манипулятора. При включении в число координат состояний датчиков, расположенных на схвате манипулятора, оказывается возможным свести к такой форме задачу построения более сложных движений, таких как *отыскать объект, взять объект* и т. д.

Рассмотренные системы являются единством конструкции, энергии и информации, и в неоднородной структуре возможны обменные соотношения между этими компонентами. Например, требования к механической части манипулятора, управляемого непосредственно человеком-оператором, оказываются значительно выше по сравнению со случаем, когда оператор управляет манипулятором с помощью вычислительной машины, и заложенные в ЭВМ алгоритмы позволяют корректировать многие дефекты механической системы. Здесь появление нового уровня – вычислительной машины – позволяет уменьшить затраты на конструктивном уровне за счет увеличения затрат на информационном уровне.

Аналогичное явление имеет место и в шагающих машинах: чем больше число ног, тем проще управление системой (например, для

поддержания равновесия). Обратившись к животному миру, мы видим, что, чем выше организация нервной системы биологического объекта, тем меньше ног этот объект имеет и тем сложнее, следовательно, у него структура системы управления движениями.

В отличие от системы с искусственно введенной избыточностью, где исходная задача погружена в расширенную систему, в многоцелевых системах с естественной избыточностью каждая из задач погружена во множество пересекающихся задач, которые и образуют расширенную систему. В таких системах, по сути дела, отсутствуют элементы, введенные только для увеличения надежности или других показателей качества решения отдельной задачи, что увеличивает эффективность систем. В этом проявляется качественное отличие многоцелевых систем от одноцелевых.

Развитие теории многоцелевых систем еще только начинается. Можно отметить появление в последнее время большого количества многоцелевых систем, что связано с бурным научно-техническим прогрессом, так как, по-видимому, только многоцелевые системы могут избежать опасности быстрого морального старения.

Робот-манипулятор по своим задачам является многоцелевой системой, и поэтому он содержит естественную избыточность. Разработка алгоритмов управления системы с избыточностью является первостепенной задачей. Применительно к биологическим системам Н. А. Бернштейн писал, что «координация движений есть преодоление избыточных степеней свободы движущегося органа и превращение его в управляемую систему». Это полностью справедливо и для роботов-манипуляторов.

3.5. Основные элементы роботов-манипуляторов

Структура роботов начала складываться чрезвычайно давно. Первой компонентой робота является его механическая конструкция (в простейшем случае – рука), которая в разное время приводилась в движение либо силой падающей воды (Герон Александрийский), либо человеком через рычажно-веревочные передачи, либо часовым механизмом. В 30–40-е гг. XX в. стали бурно развиваться электрический и гидравлический приводы, которые в дальнейшем были автоматизированы. Различного рода приводы можно отнести ко второй компоненте робота. Третья компонента – датчики информации, телевизионные системы – получили развитие в 40–50-е гг.

XX в. И, наконец, четвертая компонента – ЭВМ – появилась в начале 50-х гг.

70-е гг. XX в. явились эпохой создания систем из этих компонент, их интегрирования в единую систему типа «робот». Сначала рассмотрим механические конструкции роботов.

Наличие механических конечностей является характерной особенностью роботов как систем. В одних случаях эти конечности выступают в качестве механических рук – манипуляторов, в других случаях – в качестве ног. С помощью этих конечностей робот осуществляет активное взаимодействие с окружающей средой. Манипуляторы служат для выполнения различных работ, ноги – для перемещения робота и изменения его позы.

Манипуляторы. Они являются одной из наиболее разработанных механических частей роботов. Основная задача манипулятора заключается в воспроизведении движений руки человека. Поэтому для того, чтобы создать манипулятор, приближающийся по своим кинематическим и динамическим характеристикам к руке человека, необходимо учитывать биомеханические особенности руки.

В этом направлении проделана большая работа и созданы разнообразные конструкции манипуляторов с электрическим, гидравлическим или пневматическим приводом. Их предшественниками были копирующие манипуляторы, управляемые непосредственно человеком и являющиеся лишь удлинителями рук человека. Все многообразие их конструкций укладывается в рамки кинематической разомкнутой цепи с шарнирами (см. рис. 3.2).

Манипуляторы отличаются друг от друга, прежде всего, числом степеней подвижности. У одних она минимальна и равна трем. К ним относится манипулятор промышленного робота «Верса-тран», который работает в цилиндрической системе координат.

Большинство манипуляторов имеют семь степеней подвижности и лишь некоторые из них – десять. С ростом числа степеней подвижности возрастает разнообразие работ, выполняемых манипулятором, но при этом усложняется процесс управления им. На рис. 3.3, а–г приведены кинематические схемы действующих манипуляторов четырех типов, которые представляют собой сочетания поступательных и вращательных звеньев.

Большим разнообразием отличаются конструкции схвата манипулятора. Обычно предусматривается автоматическая смена инструмента, который вставляется вместо схвата при выполнении отдельных работ.

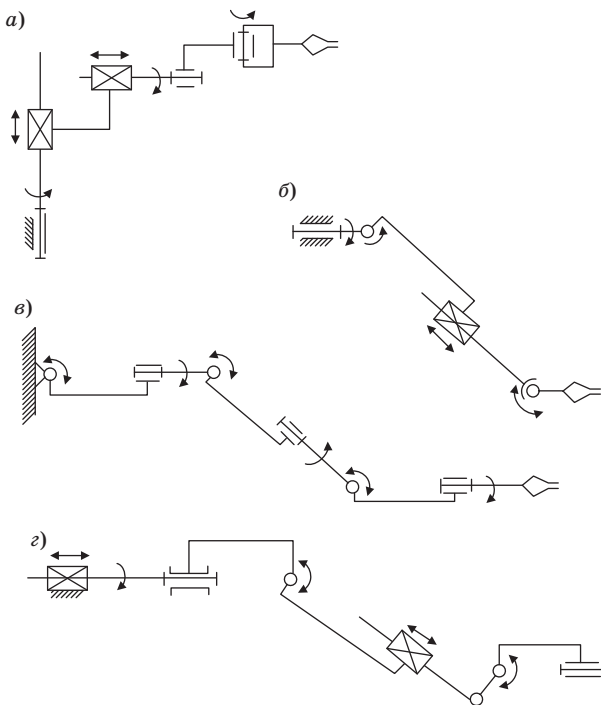


Рис. 3.3. Кинематические схемы манипуляторов:
 а – «Версатран»; б – «Мастэр-слейв»; в – «Маскот»; г – «Битл»

Важным отличием одних конструкций манипуляторов от других является место расположения двигателей, которые поворачивают отдельные звенья манипулятора. В ранних конструкциях двигатель размещался вне руки, и усилия от него передавались либо с помощью тросовой передачи, либо с помощью зубчатых передач.

Позднее появились манипуляторы с гидроприводом, рабочие цилиндры которого размещались прямо на суставах руки. В последнее время, в связи с появлением волновых редукторов, оказалось возможным существенно усовершенствовать электропривод и размещать его также на суставах манипулятора. Описанию конструкций манипуляторов посвящена довольно обширная литература. Поэтому, не останавливаясь подробно на этом вопросе, перейдем к описанию конструкции подвижной платформы, на которой может быть установлен манипулятор.

Механизмы для передвижения роботов. Во многих роботах для перемещения используется шасси колесного типа. Но в ряде случаев оказывается целесообразным использовать шасси с шагающими устройствами. Их конструкции еще далеки от совершенства, но уже можно описать некоторые типы шагающих машин.

Выбор оптимальной схемы перемещения для подвижных объектов типа «робот» играет решающую роль в повышении эффективности.

Число степеней подвижности отличается от числа степеней свободы механической системы. Степень подвижности – это просто число координат системы, которые могут изменяться. А число независимых обобщенных координат называется числом степеней свободы всей системы и определяется требованиями к эксплуатационным характеристикам, состоянием поверхности и окружающей среды.

Ниже приводится сравнительный анализ трех основных типов движителей: гусеничного, колесного и шагающего.

Справедливости ради, следует отметить, что до настоящего времени для наземного перемещения использовались движители первых двух типов, и лишь с расширением области применения роботов и необходимостью проникновения в труднодоступные районы появились движители шагающего типа, которые, по мнению многих исследователей, могут стать серьезным конкурентом колесных и гусеничных устройств.

Для того чтобы выбрать оптимальную схему перемещения, необходимо прежде всего правильно установить критерии оценки. Оптимальной может считаться схема, позволяющая выполнить поставленную задачу с минимальной затратой энергии. Задачей любого перемещающего устройства является прохождение определенного расстояния для достижения конечной цели вне зависимости от препятствий, встречающихся на пути устройства, и того, будут ли эти препятствия преодолеваются или обходиться.

Сравнение средств перемещения можно производить по величине энергозатрат, весу и габаритным размерам в зависимости от состояния окружающей среды, несущей способности грунта и размеров препятствий.

Скорость перемещения намеренно не вводится в число параметров оценки, так как при перемещении по сильно пересеченной местности скорость колесных и гусеничных устройств снижается на 40–60%, приближаясь, таким образом, к скорости шагающих

устройств, и, следовательно, сравнение можно производить при одинаковой скорости перемещения. Кроме этого, для автоматических, самодвижущихся систем типа «робот» вводится дополнительное ограничение на скорость перемещения, состоящее в следующем.

Связь с перемещающимся объектом, находящимся на значительном расстоянии, может иметь задержку по времени порядка нескольких секунд. Эта задержка в сочетании с ограничением разрешающей способности телевизионного изображения, используемого для управления самодвижущимися устройствами, и будет накладывать ограничение на верхний предел скорости, так как время прохождения расстояния до препятствия должно быть больше суммарного времени коммутационной и операторной задержки. Это ограничение относится лишь к самодвижущимся устройствам, управляемым дистанционно и не имеющим достаточного набора подпрограмм для преодоления препятствий.

Остановимся подробнее на анализе энергозатрат, которые характеризуются мощностью, расходуемой на совершение полезной работы, деформацию поверхности, трение в механизмах и потери в приводных двигателях.

Силы, препятствующие движению перемещающихся устройств, можно разделить на внутренние и внешние. Внутренние силы представляют собой силы трения в движущихся частях устройства. К внешним силам относятся: сила сопротивления движению, вызванная деформацией грунта; сила, возникающая при движении по наклонной плоскости, которая может быть как положительной, так и отрицательной; сила сопротивления среды. Сравнение энергозатрат проведем для одних и тех же условий среды и состояния поверхности, поэтому две последние силы можно не рассматривать.

Условие движения гусеничной машины определяется неравенством $P < P_{\phi}$, где P – сила сопротивления движению; P_{ϕ} – сила тяги по сцеплению. В свою очередь, $P = f_{\Gamma}Q$, где f_{Γ} – коэффициент сопротивления прямолинейному движению, зависящий от качества грунта и конструктивных особенностей ходовой части; Q – вес машины.

Величина коэффициента f_{Γ} равна 0,03–0,15 для шоссе, 0,20 – для песка и 0,25 – для снега. Сила тяги по сцеплению $P_{\phi} = \phi_{\Gamma}Q$, где ϕ_{Γ} – коэффициент сцепления, равный 0,74–0,80 для шоссе, 0,45 – для песка и 0,40 – для снега.

Максимальный угол подъема по сцеплению определяется формулой $\alpha = \arctg(\phi_{\Gamma} - f_{\Gamma})$.

Условие движения колесной машины, как и для гусеничной, определяется неравенством $P < P_{\phi}$ (рис. 3.4, а). Только в этом случае $f_k Q$, где f_k – коэффициент сопротивления качению, равный 0,012–0,018 для шоссе, 0,20 – для песка и 0,25 – для снега, а $P_{\phi} = \phi_k Q$, где ϕ_k равно 0,5–0,8 для шоссе, 0,4 – для песка и 0,3 – для снега.

Условие движения шагающей машины. Рассмотрим взаимодействие опорной части шагающего движителя с грунтом. Условимся, что плоскость действия сил и плоскость движения устройства совпадают с плоскостью листа (рис. 3.4, б). Если же учитывать момен-

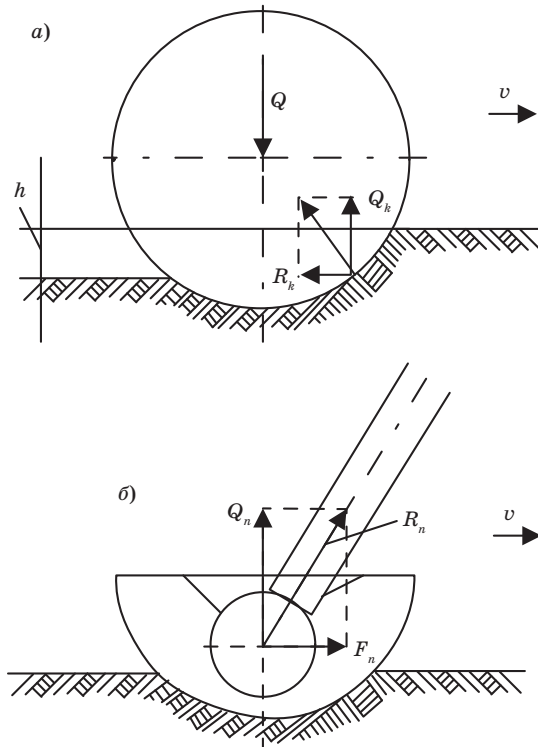


Рис. 3.4. Силы, действующие: а – на жесткое колесо при качении по деформируемому грунту: h – величина деформации грунта; v – направление перемещения; R_k, Q_k – составляющие реакции опоры колеса; б – на опору шагающего устройства: Q_n, F_n – составляющие реакции опоры конечности шагающего устройства

ты трения в шарнирах, которые относятся к внутренним силам, то реакция грунта P , являющаяся равнодействующей всех внешних сил, пройдет через ось шарнира, так как в противном случае не будет соблюдено равенство нулю моментов всех действующих сил относительно шарнира.

В отличие от колесного и гусеничного движителя сила F_n – горизонтальная составляющая реакции грунта, R_n будет силой сопротивления движению лишь в начальный момент касания ноги с грунтом, т. е. в момент деформации грунта, а остальное время цикла движения работа будет затрачиваться лишь на преодоление сил трения в движущихся частях устройства. Характер взаимодействия опорной части шагающего движителя с грунтом такой же, как и у шпор гусеницы. Сила сцепления опорной части шагающего движителя с грунтом равна $P_\phi \approx \phi_{ш} Q$, где $\phi_{ш}$ – коэффициент сцепления, который можно рассчитать по эмпирическим формулам с учетом геометрии опоры или определить экспериментально.

Условие движения шагающей машины определится неравенством $P_\phi > F_s$, где F_s – инерционная сила сопротивлению движения, приведенная к опорному звену (сила сопротивления разгону). Из этого соотношения следует, что при наличии малой P_ϕ можно, задавшись малыми ускорениями движения, избежать буксования опорных звеньев шагающего движителя относительно грунта.

Сравнение движителей по энергозатратам на перемещение. Затраты мощности на перемещение определяются работой, затрачиваемой на деформацию грунта, на преодоление трения в движущихся частях и на преодоление сопротивления среды.

Работа по деформации грунта для колеса и гусеницы представляет собой произведение силы сопротивления движению на путь, пройденный устройством. Для шагающего движителя работа по деформации грунта будет зависеть от длины шага и площади опоры, так как в отличие от первых двух типов движителей, в которых грунт деформируется непрерывно, здесь деформация происходит дискретно. Отсюда можно вывести соотношение для определения работы по деформации грунта для шагающих устройств:

$$A = L/l_{ш} l_{ст} f_{ш.у} Q_{ш.у},$$

где L – пройденный путь; $l_{ш}$ – длина шага; $l_{ст}$ – длина стопы; $f_{ш.у}$ – коэффициент сопротивления шаганию; $Q_{ш.у}$ – вес шагающего устройства.

Для колесных и гусеничных машин эта зависимость будет следующей:

$$A = LfQ_{к.м(г.м)}.$$

Работу на единице пути можно представить для шагающих, гусеничных и колесных машин соответственно в виде

$$A_{ш.у} = \frac{l_{ст}}{l_{ш}} l_{ст} l_{ш.у} Q_{ш.у}; \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} A_{г.м} &= f_{г.м} Q_{г.м}; \\ A_{к.м} &= f_{к.м} Q_{к.м}. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Из приведенных величин коэффициентов сопротивления f движению и из литературных данных [17] видно, что колесные машины имеют преимущество перед гусеничными на твердых грунтах (шоссе, твердые грунтовые дороги).

Кроме того, при движении по твердому грунту работа по деформации грунта весьма незначительна. Практически грунт почти не деформируется, а затраты энергии определяются в основном потерями в трансмиссии и двигателе, а также сопротивлением среды. Поэтому на твердых грунтах (шоссе, грунтовая дорога) колесные движители имеют бесспорное преимущество перед любым другим типом движителя, т. е. с точки зрения потерь на деформацию грунта шагающие устройства обладают преимуществами лишь на рыхлых и мягких грунтах, обладающих большой пластической деформацией.

Для шагающих устройств в настоящее время неизвестны значения коэффициента f , но есть все основания полагать, что он немногим будет отличаться от коэффициента f для колесных машин и уж, во всяком случае, не будет превышать его. Так как формулы определения работ по деформации грунта для колесных и гусеничных машин одинаковы, а коэффициент различается незначительно, то, следовательно, и работы по деформации грунта будут одинаковыми. Поэтому сравнение работ целесообразно проводить лишь для колесных и шагающих машин. Для сравнения принимаем $Q_{ш.у} = Q_{к.м} = 300$ кгс. По формулам (3.1) и (3.2) можно построить графики сравнения работ по деформации грунта для колесных и шагающих машин в зависимости от коэффициента сопротивления движению f . Работа на деформацию грунта для шагающих машин значительно меньше, чем для колесных (естественно, и для гусеничных), за счет дискретной колеи. Но это вовсе не значит, что шагающие

машины имеют полное преимущество перед колесными и гусеничными, так как на шоссе и грунтовых дорогах последние могут развивать скорость, которая никогда не будет достигнута шагающими устройствами.

Из формулы (3.1) следует, что с увеличением длины шага, поскольку потери энергии за один шаг постоянны, потери на деформацию грунта за единицу пройденного расстояния могут быть как увеличены, так и уменьшены. Но с увеличением длины шага увеличивается и вес ноги, приблизительно как $l^{3/5}$, где l – длина ноги, что ведет не столько к увеличению веса всей системы, сколько к увеличению инерционных нагрузок. Следовательно, длина шага должна выбираться конкретно для каждого случая в зависимости от конструкции шагающего движителя и требований, предъявляемых ко всей системе.

Здесь же, вероятно, целесообразно рассмотреть и возможности минимизации удельного давления на грунт q , так как оно пропорционально работе по деформации грунта. В конструкции любого типа движителя среднее удельное давление на грунт может изменяться в довольно широких пределах. Для гусеничных машин оно находится в пределах $(0,4-0,6) \cdot 10^5$ Па ($0,4-0,6$ кг/см²). Считается, что машины высокой проходимости должны иметь $q = (0,15-0,20) \cdot 10^5$ Па ($0,15-0,20$ кг/см²). Для сравнения можно указать, что давление ноги человека равно $(0,5-0,6) \cdot 10^5$ Па ($0,5-0,6$ кг/см²), лыжника – около $0,1 \cdot 10^5$ Па ($0,1$ кг/см²), аэросаней – $(0,04-0,05) \cdot 10^5$ Па ($0,04-0,05$ кг/см²).

Для шагающих машин возможно достижение удельных давлений на грунт в пределах $(0,15-0,20) \cdot 10^5$ Па, так как размеры стопы практически не оказывают заметного влияния на вес ноги, которая может быть выполнена в виде пустотелой конструкции.

Для гусеничных машин снижение удельного давления на грунт ограничивается допустимой шириной гусеницы. Габариты машины, ограниченные по ширине условиями транспортировки, заставляют расширять гусеницу лишь вовнутрь за счет корпуса, что ведет к уменьшению полезного объема для остальных агрегатов и к ухудшению доступа к ним для обслуживания. Более эффективным, если не учитывать явление бокового течения и выпирания грунта при взаимодействии с опорной поверхностью, является увеличение ее длины. Соппротивление движению f для узкой гусеницы будет меньше из-за уменьшения объема прессуемого или вытесняемого грунта. Кроме этого, значительное уширение гусеницы ведет

к увеличению ее веса почти в квадратичной зависимости. С точки зрения учета бокового трения и выпирания грунта, которое у узкой гусеницы будет больше, чем у широкой, широкая гусеница имеет преимущество перед узкой. Однако узкая гусеница обладает несомненным преимуществом в уменьшении буксования при одинаковых условиях сравнения.

Правда, применение узкой и длинной гусеницы опять-таки будет ограничено возможными габаритами средств доставки, особенно если речь идет о межпланетных транспортировках. Таким образом, выбор конструктивных параметров гусеничного двигателя является чрезвычайно сложным вопросом и зависит от конкретных условий эксплуатации и возможностей средств транспортировки.

Тем не менее, из последних выводов вытекает очевидное преимущество гусеничного двигателя перед колесным при движении на мягких грунтах. Это преимущество заключается в уменьшении потерь на буксование. На твердых грунтах имеет место обратный эффект, так как там коэффициент сопротивления движению гусеницы, как было указано ранее, значительно меньше, чем у колеса. Шагающие устройства, по-видимому, обладают в этом смысле определенными преимуществами перед колесными и гусеничными, поскольку на форму и размеры опоры не накладывается никаких существенных ограничений.

После проведенного сравнения и доказательства преимущества шагающих устройств по энергозатратам в определенных условиях может возникнуть вполне законное возражение, что в шагающих устройствах, помимо затрат энергии на деформацию грунта, требуются еще затраты энергии на холостой ход, т. е. на перенос ног и на преодоление инерционных нагрузок во время перемещения рабочего хода и, следовательно, такое сравнение неполноценно. Но, во-первых, шагающее устройство может быть полностью уравновешено как статически, так и динамически при помощи специальных устройств, как, например, любая артиллерийская установка; во-вторых, на шагающем устройстве может быть применен обратимый гидравлический привод, аккумулирующий энергию при попутной нагрузке, и, следовательно, энергия будет затрачиваться лишь на преодоление трения в шарнирах; в-третьих, как в колесных, так и в гусеничных машинах имеются неуравновешенные массы, на преодоление которых требуются затраты энергии, и, кроме того, потери в трансмиссии колесных и гусеничных машин на пониженных передачах достигают значительных величин.

Немаловажным фактором в оценке эффективности различного типа движителей является также рассмотрение способа преодоления различных препятствий и неровностей поверхности. У колесных и гусеничных машин способ преодоления препятствий в принципе одинаков, так как и те, и другие устройства имеют непрерывную колею. Любой бугор, камень, впадина, канава и т. д. будет вызывать вертикальное перемещение центра тяжести (ЦТ) системы и, следовательно, увеличивать затраты энергии на перемещение и за счет вертикального движения ЦТ, и за счет увеличения динамических нагрузок, являющихся следствием этого перемещения.

Шагающие системы, имеющие дискретную колею, преодолевают препятствия принципиально другим способом, а именно перешагиванием через них. Обладая достаточной гибкостью в управлении траекторией перемещения ноги, они могут перемещать ЦТ строго горизонтально, исключая, конечно, спуски и подъемы, и тем самым не затрачивать энергию на его вертикальное перемещение и дополнительные динамические нагрузки. Такой дополнительный выигрыш в затратах мощности на перемещение может значительно увеличивать запас хода шагающих устройств.

Следующим важным фактором оценки эффективности по затратам мощности на перемещение является внутреннее трение.

Потери на трение в колесном устройстве с жестким ободом, не имеющим в системе трансмиссии большого числа зубчатых передач, сравнительно невелики. В шагающем устройстве за счет большого числа шарниров и подвижных соединений эти потери выше. В гусеничных машинах ввиду наличия большого числа вращающихся соединений (трансмиссионные валы, поддерживающие катки, соединительные концы траков и т. д.), а также наличия зубчатых и других передач для редуцирования скорости приводного двигателя потери на трение будут еще выше. Таким образом, основными соперниками по этому критерию оценки являются колесные и шагающие устройства. Но в любом колесном движителе имеются полноповоротные наружные вращающиеся валы, тогда как в шагающем устройстве углы поворота шарниров ног ограничены. Для сред, имеющих большие перепады температур и низкий вакуум, проблема уплотнения и герметизации полноповоротных вращающихся соединений весьма сложна.

Кроме того, в условиях низкого вакуума могут иметь место диффузионные явления в материалах вращающихся соединений, что ведет к их заклиниванию. Подвод смазки к вращающимся соедине-

ниям в условиях низкого вакуума также является весьма сложной задачей, так как смазка в таких условиях мгновенно испаряется, и требуется высокая степень герметизации для обеспечения нормальных условий работы. Применение различных синтетических материалов для уменьшения трения без наличия смазки, за исключением, пожалуй, телефона, пока не дает положительных результатов. Для шагающих устройств, имеющих вращающиеся соединения с ограниченным углом поворота, проблемы герметизации и термостатирования не являются сложными на современном уровне развития техники и могут быть реализованы достаточно просто, как, например, в гибких сочленениях скафандра.

Сравнение движителей по возможности преодоления препятствий. Рассмотрим технику преодоления препятствий различными типами движителей. При преодолении препятствия типа «уступ» гусеничной машиной размер препятствия определяется высотой H расположения ленивца L (рис. 3.5, а), которая выбирается в за-

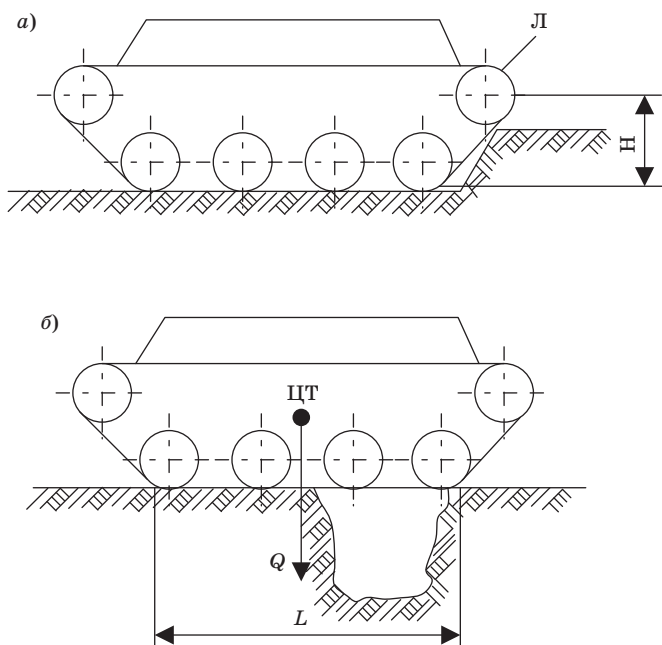


Рис. 3.5. Преодоление гусеничной машиной препятствий типа «уступ» (а) и «ров» (б)

висимости от многих других конструктивных параметров машины. Для гусеничных машин высота преодолеваемой вертикальной стенки колеблется в пределах от 0,5 м у легких машин до 1,2 м у тяжелых машин. Высота преодолеваемого уступа у колесных машин не может превышать треть диаметра колеса D (см. рис. 3.6, а). Высота преодолеваемого уступа у шагающих устройств зависит как от длин звеньев ноги l_1 и l_2 , так и от углов разворота звеньев θ_1 и θ_2 (рис. 3.7). Проведенные исследования показали, что величина преодолеваемой вертикальной стенки для автономных шагающих устройств типа «робот» находится в пределах 0,7–2 м для систем с весом в пределах от 150 до 800 кг соответственно (см. рис. 3.7).

При преодолении гусеничной машиной препятствия типа «ров» ширина рва определяется длиной опорной части гусеничного обвода L и расположением ЦТ. При расположении ЦТ в середине опорной части обвода (рис. 3.5, б) ширина преодолеваемого рва может быть не более половины L . Для современных гусеничных малых и тяжелых машин ширина преодолеваемого рва находится в преде-

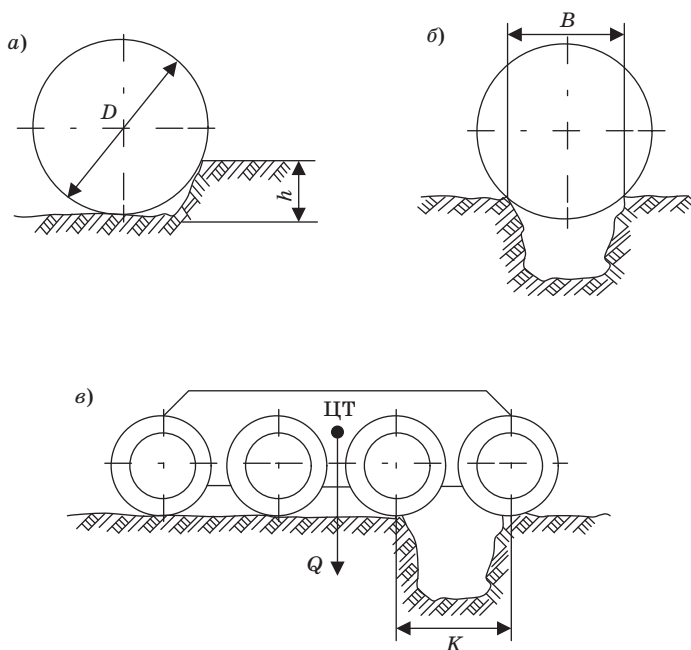


Рис. 3.6. Преодоление колесной машиной препятствий типа «уступ» (а) и «ров» (б, в)

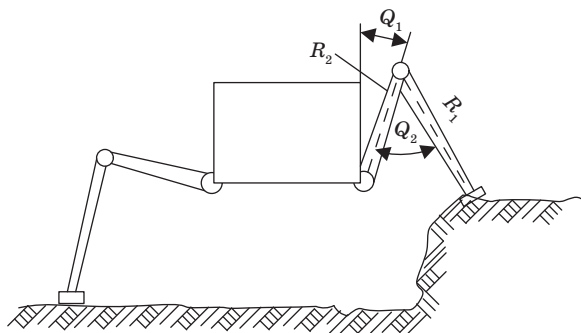


Рис. 3.7. Преодоление препятствий шагающим устройством

лах от 1,5 до 4,5 м соответственно. Для колесной машины ширина преодолеваемого рва B не может превышать половины диаметра колеса D (рис. 3.6, б). Для восьмиколесного шасси ширина преодолеваемого рва значительно увеличивается и определяется расстоянием между соседними колесами K . Преодоление рва для шагающего устройства определяется длиной шага, т. е. размерами l_1, l_2 и углами θ_1 и θ_2 (см. рис. 3.7). Для указанных ранее весов шагающих устройств размеры преодолеваемых рвов лежат в пределах от 1,2–3,5 м. Серьезным препятствием для колесных и гусеничных машин являются всевозможные надолбы, каменные тетраэдры и срубленный лес. Проходимость в этом случае определяют клиренсом машины, который у гусеничных машин составляет 0,3–0,6 м, у колесных – от 0,2 до 0,5 м, а иногда более. Сплошное нагромождение острых камней, каменных тетраэдров и т. п. является практически непреодолимым препятствием для колесных и гусеничных машин.

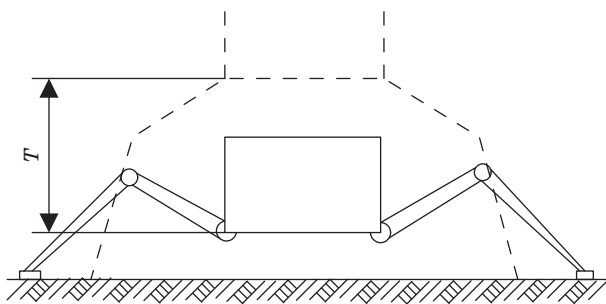


Рис. 3.8. Диапазон изменения клиренса шагающего устройства

Шагающие устройства благодаря большому диапазону изменения клиренса T (рис. 3.8) довольно легко их преодолевают.

Максимальный подъем, преодолеваемый гусеничными и колесными машинами, равен $\sim 35^\circ$, допустимый боковой крен – 30° . Для шагающих машин эти параметры при необходимости могут быть увеличены за счет применения специальных грунтозацепов.

Анализируя сказанное, можно сделать вывод, что гусеничные машины имеют преимущества перед колесным типом движителей при преодолении препятствий. Шагающие устройства обладают несомненным преимуществом перед любым типом движителя в условиях сложного рельефа поверхности, поскольку даже при одних и тех же размерах препятствий (например, рва) они обладают значительно меньшим весом, чем гусеничные.

Проведенное сравнение различных типов движителей, безусловно, является не полным, так как многие предположения нуждаются в экспериментальной проверке. При сравнении затрат мощности на перемещение нужно учитывать не только статическую деформацию грунта, но и динамические явления, происходящие в момент соприкосновения опоры с грунтом. Кроме этого, необходимо достаточно полно учесть внутренние потери в различных движителях, что можно осуществить методом моделирования. Тем не менее из приведенного исследования можно сделать вывод, что шагающие устройства обладают преимуществом перед другими типами движителей не только в условиях сложного рельефа поверхности, но и в условиях глубокого вакуума и большого перепада температур, поскольку вопросы герметизации и термостатирования решаются для них проще, чем для других типов движителей.

Шагающие устройства обладают определенными преимуществами при использовании их в качестве движителей автономных устройств типа «робот», поскольку при обеспечении их системой датчиков и бортовым вычислительным комплексом они дают более полную картину состояния поверхности и обладают большей гибкостью поведения, чем колесные и гусеничные устройства в аналогичной ситуации. За счет выигрыша в энергетических затратах (из-за дискретной колеи) в условиях сложного рельефа у шагающих устройств может быть значительно увеличен запас хода по сравнению с другими типами движителей.

При межпланетных транспортировках немаловажным преимуществом является и возможность складывания ног для уменьшения необходимого пространства внутри корабля, которое ограни-

чивается аэродинамическими силами, действующими на корабль во время старта. Другие типы движителей в своем большинстве этим свойством не обладают.

Более подробное исследование, основанное на методах моделирования на ЭВМ и на экспериментальных данных, может дать зависимости для четкого определения области применения того или иного типа движителя.

Немаловажную роль при создании шагающей машины, управляемой ЭВМ, играет выбор типа привода и источников энергии. При выборе типа привода необходимо, прежде всего, четко знать задачи, поставленные перед машиной, и условия, в которых она будет работать. В соответствии с этим выбирается источник энергии (турбина, двигатель внутреннего сгорания, пороховой двигатель, электрические или гидравлические аккумуляторы, солнечные батареи и др.). В исполнительных механизмах могут быть использованы электрические, пневматические или гидравлические двигатели.

Шагающая машина, управляемая от ЭВМ, предусматривает отдельный двигатель на каждом суставе ноги. Таким образом, на каждую степень подвижности приходится по одному двигателю. Применение ротационных двигателей связано с преобразованием вращательного движения в поступательное, что влечет наличие дополнительных механических частей типа реечных передач, тросовых и т. п. Поэтому целесообразно применять двигатели с поступательным типом движения.

Электроприводы поступательного типа (шаговые электродвигатели, электромагнитные муфты) неудовлетворительно работают в условиях большого перепада температур и обладают сравнительно большим весом и габаритами. Электромагнитные муфты и шаговые двигатели являются приводами дискретными, что не всегда может удовлетворить требованиям к шагающим машинам. Кроме этого, при трех, четырехкратных перегрузках они выходят из строя.

Получение низких скоростей выходного вала электропривода связано с применением редукторов. Наиболее целесообразным в этом случае является применение волновых редукторов, которые отличаются небольшими габаритами и весом при высокой степени редукции. Пневмопривод легко регулируется в большом диапазоне, обладает хорошими весовыми характеристиками на единицу мощности, но при увеличении нагрузки на исполнительных органах теряет жесткость характеристик и не приспособлен к работе в условиях большого перепада температур.

Особого внимания заслуживает гидропривод. В современной промышленности он находит все более широкое применение, особенно в станкостроении (например, в станках с программным управлением) и в различных конструкциях ЛА, где выполняет функции, аналогичные «мышцам» шагающей машины.

Широкое применение гидропривода объясняется его преимуществами, основными из которых являются малые габариты и вес, приходящиеся на единицу мощности. Обычно габариты гидромоторов составляют 10–13% от габаритов электродвигателей, а вес – от 10 до 20% веса электродвигателей той же мощности. Важным преимуществом гидропривода является его малая инерционность. За счет этого время реверса мотора и разгона насоса от нулевой до полной производительности составляет около 0,03–0,04 с. Преимуществом гидропривода является также возможность бесступенчатого регулирования выходной скорости при высокой степени редукиции, а также плавность, равномерность и устойчивость движения, большой срок службы и высокий КПД. Применение новейших рабочих жидкостей с диапазоном температур от минус 54 до 230 °С позволяет использовать гидропривод в любых климатических и температурных условиях.

Следует отметить, что в настоящее время нет единой теории информационных роботов, и она может быть построена только с учетом трех основных компонентов – конструкции, энергии и информации. До сих пор информационный аспект совершенно не учитывался при создании подвижных систем. Этим можно объяснить неуспех в постройке таких систем, как шагающая машина, ЛА с машущими крыльями, плавающий аппарат с хвостом. По-видимому, решение двух последних задач можно искать в классе информационных систем с датчиками обратной связи. Летательный аппарат-орнитоптер должен иметь датчики характеристик воздушного потока подобно птице, которая имеет чувствительные перья на груди. Плавающий аппарат с хвостом должен иметь датчики характеристик водяного потока. Эта информация должна перерабатываться вычислительной машиной для управления рабочими органами.

3.6. Информационные системы роботов

Одним из основных отличий роботов-манипуляторов, управляемых ЭВМ, является то, что они могут активно взаимодействовать с

реальной внешней средой, используя информацию о ее состоянии и о состоянии своих рабочих органов (рук, ног и т. п.). В общем виде задачи, выполняемые роботом-манипулятором, могут состоять из следующих этапов: поиск объекта (или объектов), передвижение руки (рук, рук с инструментами) к объекту, ориентация руки (инструмента) относительно объекта определенным образом, выполнение различного рода манипуляций, возвращение руки манипулятора в исходное положение или переход к следующей операции, перемещение всего робота в реальном физическом мире (цех завода, дно океана, космическая станция и т. п.), обход препятствий. В связи с этим роботу необходимо иметь информацию о геометрических характеристиках объектов, необходимых для их распознавания; о положении объектов и рук в пространстве; об усилиях, возникающих в звеньях рабочих органов робота, и о параметрах движения звеньев рабочих органов.

Информационные системы роботов представляют собой устройства сбора и обработки информации. Рассмотрим некоторые общие требования, которые должны предъявляться к этим устройствам. Информация, получаемая от датчиков, должна быть экономичной с точки зрения загрузки вычислительной машины, поскольку, с одной стороны, одна ЭВМ может обслуживать одновременно несколько роботов, с другой стороны, ЭВМ может быть установлена на самом роботе. В то же время объем информации от датчиков должен обеспечивать некоторую избыточность, необходимую для надежной работы робота. Тогда при выходе из строя отдельного датчика или даже целой группы датчиков робот сможет продолжать целесообразную деятельность, правда, за счет времени, точности и т. п.

Аппаратура преобразования сигналов устройств сбора информации в большинстве случаев находится на некотором удалении от чувствительных элементов. Это обстоятельство налагает определенные требования на величину выходного сигнала и кабель связи. В простейшем случае передача сигналов с датчиков, расположенных на рабочих органах робота, осуществляется при помощи гибкого многожильного кабеля, проходящего через подвижные сочленения рук и ног робота. Поэтому целесообразно предусмотреть возможность использования для этих целей датчиков бесконтактного типа или же передавать информацию через несколько каналов (жил кабеля). Остальные требования во многом зависят от области использования роботов-манипуляторов [16–18].

Устройства сбора информации можно разбить на два класса.

1. Устройства сбора информации о состоянии рабочих органов.

Основными параметрами движения робота-манипулятора являются линейные и угловые перемещения звеньев рук и ног робота в пространстве. Соответствующие скорости и ускорение звеньев легко определяются путем последовательного дифференцирования.

Рассмотрим датчики угловых и линейных перемещений, которые могут быть использованы в информационных системах роботов.

Для измерения угловых перемещений чаще всего применяют потенциометрические датчики, преобразующие угол поворота в напряжение. Точность прецизионных потенциометров может достигать 0,01–0,05%, разрешающая способность – 0,05–0,01%. С повышением разрешающей способности потенциометра, как правило, увеличиваются его габариты, которые для большинства прецизионных потенциометров колеблются в следующих пределах: диаметр 60–150 мм, высота 50–90 мм. Малые габариты и очень высокую разрешающую способность имеют многооборотные спиральные потенциометры [16].

Основные недостатки потенциометрических датчиков заключаются в износе проволоки и щетки, ограниченной разрешающей способности и низкой чувствительности по напряжению. От этих недостатков свободны *трансформаторные* преобразователи угловых перемещений. Наибольшее распространение имеют вращающиеся трансформаторы и сельсины, позволяющие получать напряжения переменного тока, пропорциональные тригонометрическим функциям угла поворота или самому углу. Следует отметить, что однозначная зависимость выходного напряжения у них в функции угла поворота ограничена интервалом 0– n . Недостатком трансформаторных преобразователей является сравнительно низкая точность воспроизведения функции угла поворота, не превышающая в большинстве случаев 0,1–0,2%.

Для измерения линейных перемещений можно использовать как потенциометрические, так и *индуктивные* датчики. Использование индуктивных датчиков для непосредственного измерения перемещения возможно только при движении подвижного звена в пределах 80–100 мм [17]. Для повышения точности измерения обычно применяют датчики дифференциального типа с двумя катушками. Основной недостаток этих датчиков заключается в нелинейности их характеристик, что и затрудняет их использование для измерения значительных перемещений.

И, наконец, для измерения линейных и угловых перемещений можно использовать счетные датчики, т. е. датчики, у которых выходная величина представляется числом импульсов. В тех случаях, когда требуется различать направление изменения измеряемой величины, применяют двухфазную систему воспринимающих элементов. Рассмотрим схему (рис. 3.9) фотоэлектрического преобразователя с зубчатым диском и двумя фотодиодами, сдвинутыми один относительно другого на четверть зубцового деления. При вращении диска вправо выходной сигнал левого фотодиода опережает выходной сигнал правого; при вращении влево – наоборот. Это дает возможность, используя логические цепи, различать импульсы, соответствующие увеличению и уменьшению угла поворота. Счетчик импульсов при этом должен быть реверсивным. Полупроводниковые тензосопротивления могут иметь как положительный, так и отрицательный коэффициент тензочувствительности, т. е. при деформации их сопротивление может и увеличиваться, и уменьшаться. К их недостаткам следует отнести изменение коэффициента тензочувствительности в зависимости от уровня деформации, температуры, удельного сопротивления материала.

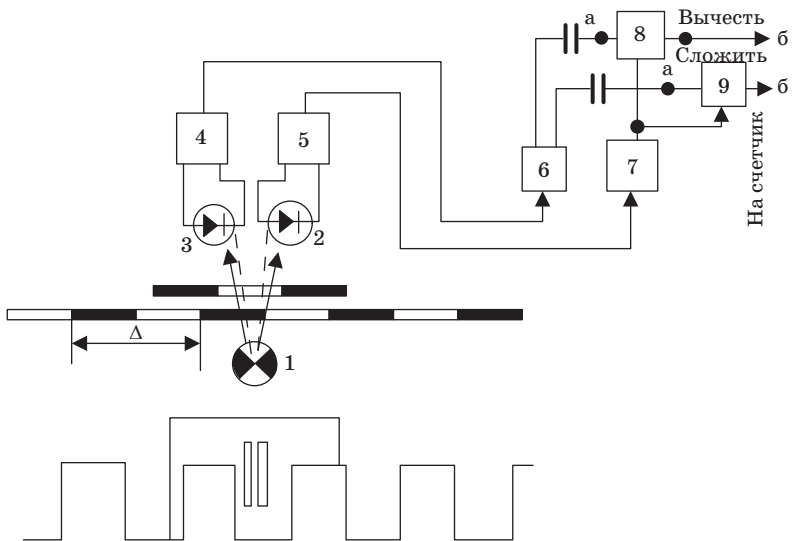


Рис. 3.9. Блок-схема фотометрического счетного датчика:
 1 – источник света; 2, 3 – фотодиоды; 4, 5 – усилители;
 6, 7 – триггеры; 8, 9 – ключи

2. Устройства сбора информации о состоянии внешней среды. К первой группе датчиков, которыми должны быть снабжены роботы-манипуляторы, относятся тактильные датчики. Их отличительной чертой является то, что в процессе работы к ним могут быть приложены значительные статические и динамические нагрузки. В то же время для обеспечения осторожной работы с объектами зачастую требуется измерение малых усилий. Наибольшее распространение имеют два метода измерения усилий: 1) преобразование усилий в деформацию чувствительного элемента; 2) преобразование усилий в перемещение подвижной части чувствительного элемента. Исходя из требований большой перегрузочной способности и износоустойчивости рабочая поверхность датчика должна удовлетворять требованию высокой механической прочности.

Работу простейшей логической цепи (см. рис. 3.9) иллюстрируют кривые на рис. 3.10. Счетный датчик особенно удобен для ис-

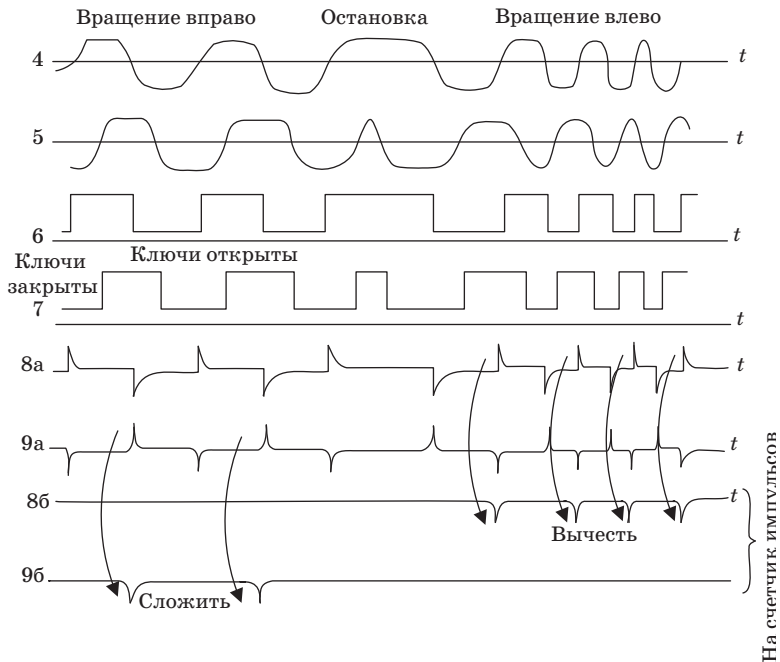


Рис. 3.10. Временная диаграмма работы фотометрического счетного датчика (см. рис. 3.9)

пользования с цифровой ЭВМ, так как в этом случае отпадает необходимость в аналого-кодовом преобразователе.

Наряду с измерением угловых и линейных перемещений часто необходимо иметь информацию о различного рода деформациях и механических напряжениях. Для измерения относительных деформаций в пределах 0,005–1,5% обычно используются проволочные тензометры на бумажной основе, а также фольговые и пленочные тензосопротивления. Тензосопротивления практически безынерционны и могут применяться в диапазоне частот от 0 до 100 кГц [16]. Рядом преимуществ перед подобными тензосопротивлениями обладают полупроводниковые тензодатчики: очень малые размеры (до 1 мм), высокая тензочувствительность (на 2 порядка выше, чем у проволочных тензометров), высокий уровень выходного сигнала.

Использование чувствительного элемента непосредственно в качестве рабочей поверхности (например, для измерения локальных усилий) в принципе возможно для некоторых типов преобразователей (магнитоупругих, кристаллических полупроводниковых, проводящей резины и др.). Однако механические свойства материалов всех этих чувствительных элементов (кроме магнитоупругих) допускают такое использование только в самых благоприятных случаях – для работ с малыми нагрузками. Магнитоупругие преобразователи могут быть использованы только для измерения значительных усилий (не менее 10^8 Па), поэтому применение их в качестве тактильных датчиков не рассматривается.

Часто оказывается, что площадь приложения внешнего усилия меньше площади рабочей поверхности отдельного датчика. В этих случаях измеренная величина не должна зависеть от точки приложения усилия. Это определяет требования к конструкции датчика.

Одна из возможных конструкций тактильного датчика с жесткой рабочей поверхностью представляет собой металлическую пластину 1, свободно подвешенную на плоских пружинах 4 (рис. 3.11). Отсутствие трения в направляющих (для малых усилий) и возможность плавной регулировки 3 натяжения пружины позволяют измерять малые усилия. В то же время, благодаря упорам 2 датчик может выдерживать значительные перегрузки, в том числе и направленные вдоль рабочей поверхности. Чувствительные элементы (на рисунке не показаны) располагаются в нескольких точках (четырёх и более) по периметру рабочей поверхности. Благодаря этому суммарный сигнал практически не зависит от места приложения усилия.

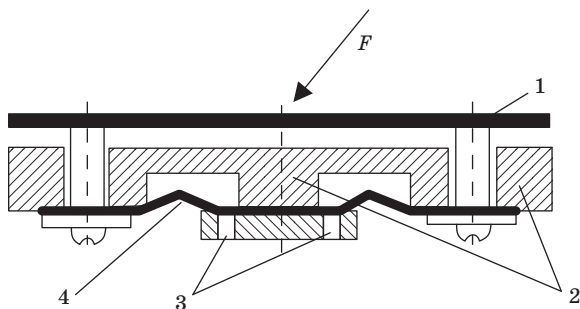


Рис. 3.11. Тактильный датчик

Рассмотрим некоторые типы преобразователей и возможность их использования для создания тактильных датчиков. Простейшим датчиком является *контактный*, т. е. датчик, в котором механическое перемещение преобразуется в замкнутое или разомкнутое состояние контактов. Контакты являются наиболее ответственной частью датчика. Материал, конструкция, режим их работы определяют как надежность, так и стабильность работы датчика во времени. Выбор материала контактов определяется прежде всего контактным усилием, значение которого колеблется в широких пределах: $0,001 - 0,02$ Н (для высокочувствительных маломощных контактных преобразователей). Для большинства обычных материалов контактов оптимальное усилие составляет $0,03$ Н. Следует обращать особое внимание на износостойчивость контактов. Наиболее стойкими по отношению к коррозии являются контакты из золота и платины, которые могут применяться при малых контактных усилиях ($0,01 - 0,02$ Н), но их твердость и, соответственно, износостойчивость невелики. Наиболее распространенным материалом для маломощных контактов является серебро. Под действием электрической искры серебряные контакты покрываются оксидной пленкой, которая электропроводна и легко разрушается при усилиях $0,05 - 1$ Н.

Контактные датчики могут использоваться в качестве тактильных в нормальных атмосферных условиях. Их недостатки: невозможно использовать в химически активной среде и под водой; необходимо периодически проверять работоспособность контактов и чистить их.

Датчики с *магнитоуправляемыми контактами* свободны от перечисленных недостатков. Магнитоуправляемый контакт пред-

ставляет собой стеклянную капсулу, внутри которой содержится нейтральный газ или вакуум. В капсулу впаяны пластинки из ферромагнитного материала, контактные поверхности которых имеют специальное покрытие, уменьшающее их износ. При действии на капсулу внешнего магнитного поля контакты замыкаются. Магнитоуправляемые контакты обладают большим быстродействием (время срабатывания 3 мс, отпускания – 0,8 мс), допускают большое число включений (до 10^8), работают в широком диапазоне температур окружающей среды и обладают вибро- и ударостойкостью. Недостатком датчика является необходимость обеспечивать сильное внешнее магнитное поле.

В качестве тактильных датчиков можно использовать и *индуктивные* датчики (рис. 3.12), основанные на зависимости индуктивности системы от магнитного сопротивления зазора в магнитопроводе.

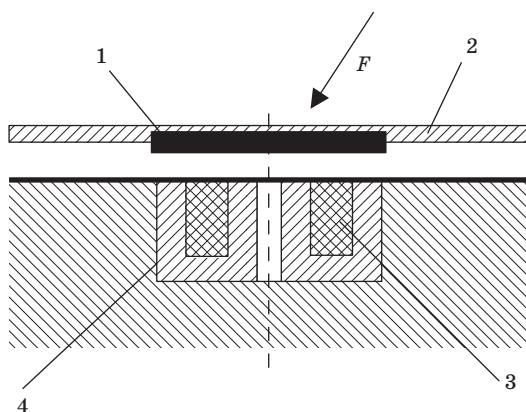


Рис. 3.12. Магнитоуправляемый контактный датчик:
1 – рабочая поверхность; 2 – магнит;
3 – магнитоуправляемый контакт; 4 – катушка

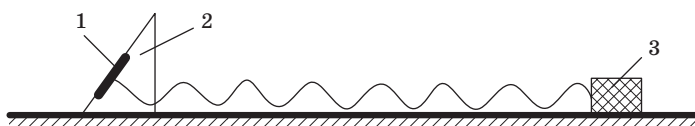


Рис. 3.13. Схема образования поверхностных ультразвуковых волн:
1 – излучатель; 2 – призма; 3 – приемник

Индуктивные датчики отличаются надежностью в работе, высокой чувствительностью и малыми габаритами.

В заключение рассмотрим тактильный датчик с использованием поверхностных ультразвуковых волн. Поверхностные волны представляют собой наложение волн, продольных и поперечных по отношению к направлению распространения колебаний. Для такого наложения используются преобразователи в виде клина (рис. 3.13). Угол клина подбирается таким, чтобы, выходя из клина, волна распространялась вдоль поверхности. Клин образует начало дорожки поверхностных волн, которая распространяется в виде прямоугольной полоски до тех пор, пока не встретит противоположный край пластины, где располагается приемник. При наличии препятствий ультразвуковая волна меняет свою форму (фазу и амплитуду колебаний), появляются гармонические составляющие. Приемник улавливает эти изменения и выдает сигнал о наличии препятствия. Обычно поверхностные волны получаются в коротковолновом диапазоне ультразвуковых колебаний на частотах 1–10 МГц. Поверхностные ультразвуковые волны способны огибать кривые поверхности, если только не нарушается непрерывность или если кривизна поверхности не меняется слишком круто. В последнее время в практике протезирования начинают применять датчики измерения механических усилий, которые используют проводящую резину, изменяющую электрическое сопротивление при деформации; по-видимому, применение таких датчиков имеет перспективу и для роботов.

Ко второй группе датчиков сбора информации о состоянии внешней среды относятся датчики ближнего обнаружения, служащие для обнаружения объектов и препятствий на сравнительно небольшом расстоянии. В качестве таких датчиков можно использовать *фотометрические* датчики, работающие по принципу измерения интенсивности отраженного светового потока. Для исключения фоновой засветки фотодиодов световой поток источника света модулируется по амплитуде. Зона обнаружения предметов образуется пересечением излучаемого и принимаемого световых потоков (рис. 3.14). При попадании предмета в зону обнаружения часть модулированного светового потока отражается и попадает на фотодиод.

В некоторых случаях удобно использовать фотометрические датчики, работающие по принципу прерывания луча света. С их помощью можно перекрывать прямолинейные поверхности большой длины (например, боковую поверхность схвата).

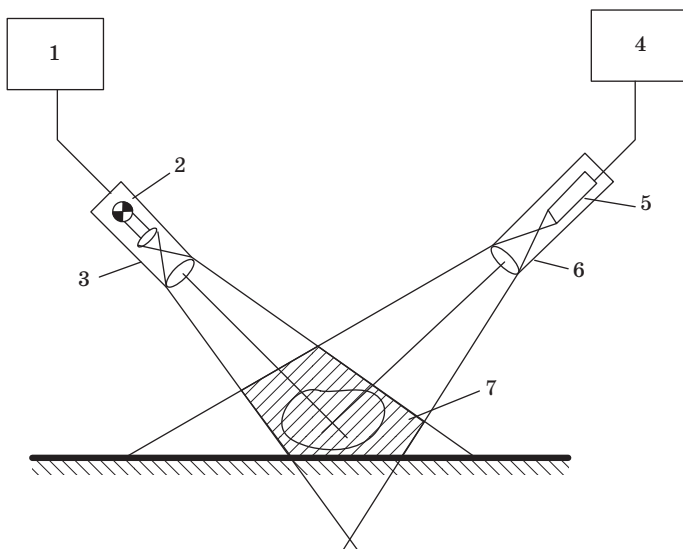


Рис. 3.14. Фотометрический датчик, измеряющий интенсивность отраженного светового потока: 1 – модулятор; 2 – источник света; 3 – передающее оптическое устройство; 4 – избирательный милливольтметр; 5 – фотодиод; 6 – приемное оптическое устройство; 7 – зона возможного обнаружения объектов

В случаях, когда применение фотометрических датчиков невозможно (например, в оптически малопрозрачных средах), целесообразно применять *ультразвуковые* датчики. Работа ультразвукового датчика ближнего обнаружения основана на регистрации сигналов, отраженных от предметов, находящихся в зоне слышимости приемника (например, в интервале 0,01–0,1 м).

В качестве датчиков ближнего обнаружения могут быть также использованы датчики, служащие для распознавания объектов по их физическим свойствам (температуре, запаху и др.).

И, наконец, к третьей группе датчиков сбора информации о состоянии внешней среды относятся сканирующие локационные устройства, предназначенные для обнаружения объектов в рабочей зоне робота и определения их координат.

При достаточной разрешающей способности системы возможно определение размера объектов. Локационные устройства в данном случае являются дальномерами, позволяющими измерять расстояние порядка нескольких метров. В настоящее время достаточно

хорошо разработаны следующие типы локационных устройств для измерения малых расстояний: оптические (фотометрические, лазерные); акустические и локационные устройства, использующие ионизирующие излучения (рентгеновские, γ -лучи).

Для *лазерных* локаторов характерна большая точность определения координат обнаруживаемых объектов и высокая разрешающая способность, что объясняется острой направленностью и весьма малой шириной луча лазера (несколько угловых секунд). Лазерный луч через передающую оптическую систему направляется на объект (рис. 3.15, а). Часть отраженного сигнала улавливается приемным объективом, на выходе которого находится узкополосный оптический фильтр. С его помощью выделяется отраженный сигнал даже на фоне излучения Солнца, поскольку полоса пропу-

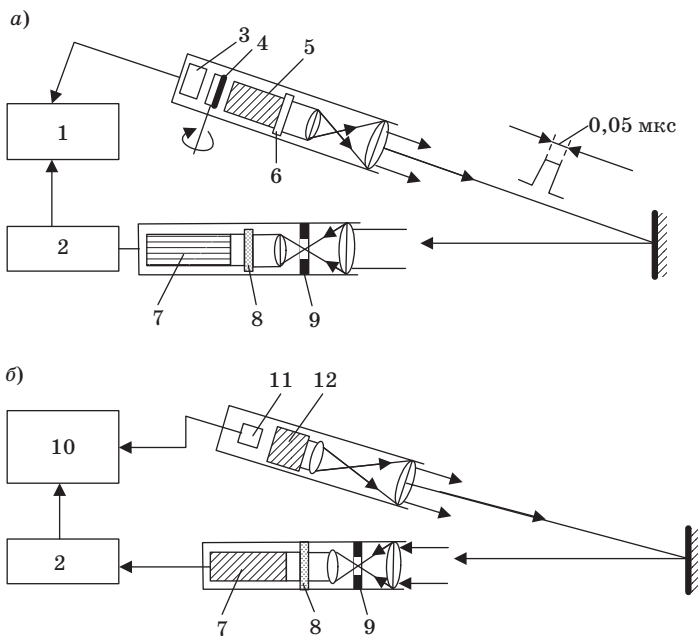


Рис. 3.15. Блок-схема лазерного дальномера, работающего в импульсном (а) и в непрерывном (б) режиме: 1 – электронный счетчик; 2 – видеоусилитель; 3 – фотозлемент; 4 – вращающийся зеркальный отражатель (модулятор); 5 – рубиновый стержень; 6 – зеркало; 7 – фотоумножитель; 8 – фильтр; 9 – диафрагма; 10 – фазометр; 11 – фотодиод; 12 – полупроводниковый лазер

сказания фильтра не превышает $1,5\text{--}10 \text{ \AA}$. Затем сигнал поступает на фотоэлектронный умножитель (детектор), усиливается и запускает счетчик. По числу импульсов, поступающих на счетчик за определенный промежуток времени, определяется расстояние до объекта. Лазерные дальномеры с импульсной модуляцией практически не могут измерять расстояние менее 3 м, так как промежуток времени между прямым и отраженным сигналами становится соизмеримым с длительностью излучаемого импульса.

Для измерения малых расстояний с высокой точностью используются лазерные дальномеры, работающие в непрерывном режиме. Блок-схема такого дальномера приведена на рис. 3.15, б. Измерение расстояния производится на основе сравнения фаз модулирующих колебаний, соответствующих моменту излучения зондирующих сигналов и моменту прихода в приемное устройство локатора отраженных сигналов. Отечественный геодезический дальномер ГД-314, например, предназначен для точного измерения расстояний в пределах до 2 км [20]. Источником излучения у него является полупроводниковый диод с длиной волны 8600 \AA , мощность излучения 0,5 мВт, точность измерения во всем диапазоне 2 см.

Перейдем к рассмотрению *акустических* локационных систем. Акустическая локационная система для измерения малых расстояний действует по тому же принципу, что и лазерная или радиолокационная, но в значительно более благоприятных условиях хронирования (измерение времени прихода отраженного импульса), поскольку скорость распространения звуковых колебаний в воздухе

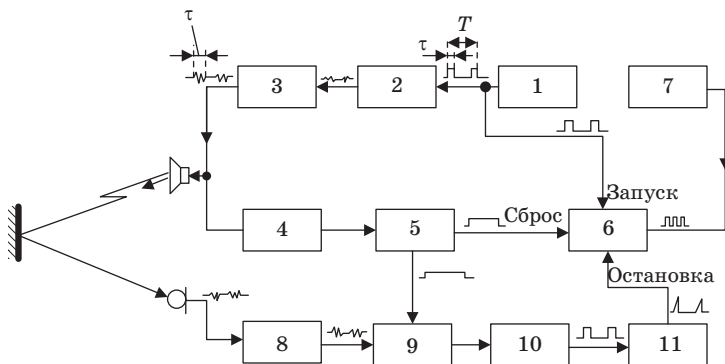


Рис. 3.16. Блок-схема акустической локационной системы

всего лишь 330 м/с. Следовательно, такая система более пригодна для измерения малых расстояний.

Генератор импульсов 1 (рис. 3.16) генерирует прямоугольные импульсы, возбуждающие генератор несущей частоты 2, звуковой или ультразвуковой. Импульсы несущей частоты с усилителя мощности 3 поступают на излучатель и цепь задержки 4, которая служит для задержки сигнала на время, равное длительности излучаемого импульса. Генератор 5 вырабатывает стробирующий импульс, во время которого могут прийти отраженные импульсы. Отраженные сигналы, поступающие на избирательный усилитель 8, проходят через схему разрешения 9, детектор 10, формирователь 11 и затем поступают на счетчик 6.

Измерение расстояний происходит по показаниям счетчика 6, который подсчитывает количество импульсов мультивибратора 7 за время распространения ультразвуковой волны.

Из фазовых методов измерения расстояний широкое распространение получили методы, основанные на измерении времени распространения ультразвуковой волны с применением непрерывных или амплитудно-модулированных ультразвуковых колебаний. Излучатель 1 посылает ультразвуковую волну узко направленным лучом. Отразившись от препятствия, волна поступает на приемник 2, который преобразует принятые ультразвуковые колебания в напряжение. Принятый сигнал усиливается селективным усилителем 3, поступает на фазовый детектор 4. Сюда же поступает напряжение с генератора 6. Детектор вырабатывает постоянное напряжение, пропорциональное фазовому сдвигу этих напряжений и, следовательно, измеряемому расстоянию. Напряжение с детектора поступает на измерительное устройство 5. Большой интерес представляют ультразвуковые дальнометры, работающие по фазовому методу и измеряющие расстояние от 0,2 до 2 м с погрешностью 2%.

Метод разности фаз (рис. 3.17) позволяет повысить точность измерения расстояний.

Достоинства ультразвуковых локационных систем заключаются в возможности измерять малые расстояния. Их недостатки: сильное затухание ультразвуковых волн в газах, зависимость скорости распространения волн от свойств среды, невозможность работы в вакууме, низкая по сравнению с лазерными и радиолокационными системами разрешающая способность. Следует отметить, что сильное затухание ультразвуковых волн в газах несущественно сказывается при измерении малых расстояний (до 1 м), а различ-

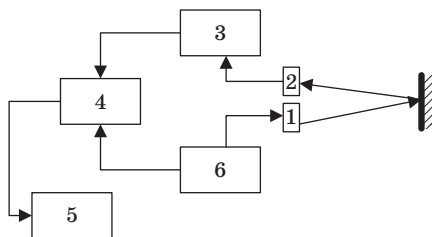


Рис. 3.17. Блок-схема прибора для измерения расстояния методом разности фаз: 1 – генератор; 2 – измеритель; 3 – выделитель фазы; 4 – блок сравнения; 5 – индикатор; 6 – генератор стандартного сигнала

ная скорость распространения волн может быть учтена специальной схемой коррекции по скорости.

Известны следующие методы сканирования: бескадровое непрерывно-построчное, покадровое, автономное, автономно-покадровое. Метод бескадрового непрерывно-построчного сканирования используется в тех случаях, когда объект, на котором установлена сканирующая система, движется с какой-то известной скоростью относительно исследуемой поверхности, при этом построчное сканирование осуществляется в перпендикулярном направлении. Этот метод удобно применять для локационной системы, расположенной на рабочем органе манипулятора.

В методе покадрового сканирования осуществляется многократное сканирование одного и того же участка пространства, ограниченного кадром развертки, причем дополнительного перемещения сканирующей системы не происходит. Такой метод используется в большинстве промышленных и исследовательских сканирующих и телевизионных систем, когда вся интересующая нас информация размещается в пределах одного кадра.

При автономном сканировании луч может совершать любые перемещения по контролируемой поверхности (с ограничением по кадру и без него); возможна любая комбинация последовательностей и подробностей просмотра отдельных участков контролируемого пространства с любой разрешающей способностью. Такой метод, как правило, используется в самонастраивающихся и адаптивных сканирующих системах.

В методе автономно-покадрового сканирования осуществляется сканирование ограниченного кадра, а сам кадр при этом может автономно перемещаться по исследуемому объекту. Этот метод при-

меняется, в основном, тогда, когда все участки поля, содержащие полезную информацию, не могут быть одновременно размещены в одном кадре.

Метод автономно-покадрового сканирования в настоящее время получил наибольшее распространение. Сканирующие системы, использующие этот метод, по принципу действия можно разделить на оптико-механические, оптико-электрические, полупроводниковые, фотоэлектронные и квантомеханические.

В настоящее время достаточно широкое распространение получили *оптико-механические* устройства, осуществляющие сканирование с помощью вращающихся или подвижных элементов, которые позволяют направлять излучение последовательно на различные участки сканируемого пространства. Существенные недостатки этого класса устройств заключаются в малом быстродействии, в сложности конструкции и малой надежности их работы. К классу оптико-механических устройств непосредственно примыкают *волоконно-оптические* устройства, обладающие большим быстродействием и простотой. Использование элементов волоконной оптики позволяет применить ряд новых принципов сканирования пространства, разделение изображения, изменение его формата, размеров и произвести ряд других преобразований. К *оптико-электрическим* сканирующим устройствам можно отнести сканирующий лазер, ультразвуковой, дисперсионный и полупроводниковый сканаторы.

На базе сканирующих устройств может быть построен топографический прибор, предназначенный для измерения рельефа и других особенностей местности вблизи робота. Данные о характеристике местности снимаются в виде матрицы $A = \{a_{ij}\}$, где каждый элемент a_{ij} характеризует определенный элемент поверхности. Если поверхность горизонтальная, то все $a_{ij} = 0$. В противном случае элемент a_{ij} равен высоте препятствия, соответствующего координатам (i, j) . Очевидно, элементы a_{ij} могут принимать и отрицательные значения (для участков понижения местности). Кроме того, топографический прибор позволяет регистрировать цвет и текстуру каждого элемента поверхности, записывая их в виде такой же матрицы.

Принцип работы топографического прибора заключается в следующем (рис. 3.18). Сканирующее устройство 2 разворачивает луч от источника 1 по исследуемой поверхности. Сопряженное сканирующее устройство 4 осуществляет слежение за световым пятном, которое

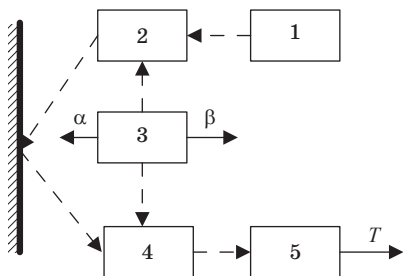


Рис. 3. 18. Блок-схема топографического прибора

в исходном состоянии фокусируется с помощью объектива в центр фотопотенциометра 5. В случае ровной горизонтальной поверхности отраженный сфокусированный луч оказывается неподвижным относительно фотопотенциометра, и последний выдает сигнал, равный 0. Неровная поверхность вызывает пропорциональные смещения луча по фотопотенциометру, на выходе которого возникает сигнал T , пропорциональный изменению рельефа местности по отношению к некоторому нулевому. Прямое и сопряженное сканирующие устройства приводятся в действие от общего приводного двигателя 3. С него снимаются мгновенные значения углов сканирования β и α , определяющие величины $i = f_1(\alpha, \beta)$, $j = f_2(\alpha, \beta)$.

При сканировании трещин, ям луч не всегда может достичь их дна. Поэтому возможны информационные потери, особенно на дальних участках поверхности, где угол между лучом и поверхностью мал. Прибор в принципе позволяет выяснить наличие таких участков местности, но для этого необходимо вместе с величиной u регистрировать величину ее производной, а также моменты пропадания луча. Существенную информацию несет и первая производная яркости отраженного луча.

И, наконец, одним из наиболее важных приборов, предназначенных для сбора информации о внешней среде, является *телевизионная камера* (моно- или стереоскопическая), служащая аналогом «глаза». снабжение робота зрением чрезвычайно важная и в то же время сложная задача. Желательно, чтобы робот, обладающий зрением, мог распознавать объекты реального внешнего мира, узнавать «знакомые» предметы, автономно выполнять сборочные, строительные и другие работы. При этом следует иметь в виду, что снабжение робота зрением резко удорожает всю систему, но упрощает алгоритмы управления его поведением (при

условии, что алгоритмы распознавания зрительных образов в реальном масштабе времени разработаны). Основные трудности при использовании зрительного анализатора заключаются в обработке информации, поступающей от анализатора. Эти вопросы будут рассматриваться ниже.

Мы рассмотрели практически все типы датчиков, которыми необходимо снабдить робота в наиболее общем случае. Естественно, что при разработке роботов-манипуляторов, предназначенных для решения некоторого специального класса задач, следует особое внимание обратить на рациональный выбор сенсорных (чувствительных) устройств, входящих в информационную систему роботов.

Рассмотрим один из возможных простейших вариантов размещения датчиков на рабочем органе манипулятора (рис. 3.19). В «суставах» рабочего органа располагаются датчики положения потен-

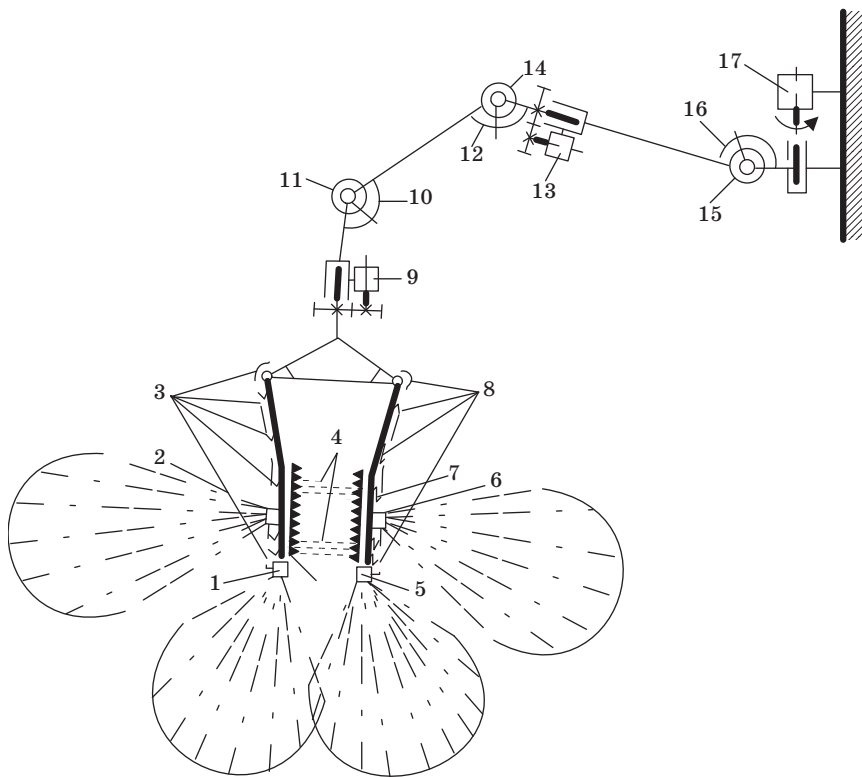


Рис. 3.19. Зоны действия датчиков схвата

циометрического типа 9, 10, 12, 13, 16, 17, определяющие угловые положения звеньев, и датчики усилий 11, 14, 15, измеряющие полезные усилия в приводах звеньев. На внешней и внутренней поверхностях схвата располагаются тактильные датчики 3, 8, регистрирующие соприкосновение объектов внешней среды с определенной частью поверхности схвата. Датчики ближнего обнаружения 1, 2, 5, 6 регистрируют объекты, расположенные вблизи боковых поверхностей схвата. Фотометрические датчики 4, регистрирующие наличие объекта внутри схвата, и датчики 7, измеряющие силу сжатия схвата, расположены на внутренней поверхности схвата.

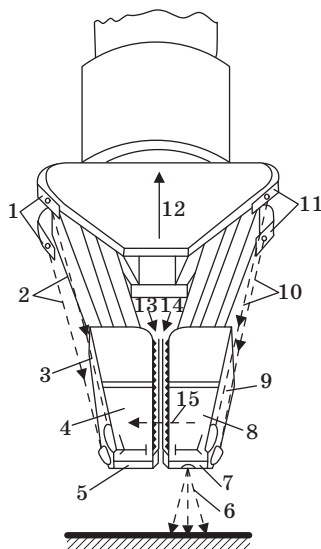


Рис. 3.20. Внешний вид схвата, оснащенного датчиками

На рис. 3.20 показана конструкция схвата с расположенными на нем датчиками [17]. Тактильные датчики 4, 9, 13, 14 – контактного типа с жесткой рабочей поверхностью и порогом срабатывания 10 – 15 г. Датчики 1, 3, 5, 7, 8, 11 контактного типа выполнены в виде «дверцы» с неподвижной осью. Порог чувствительности их около 30 г в средней части контактируемой поверхности и зависит от места приложения усилия. Датчики 2, 10, 15 фотометрического типа работают по принципу прерывания луча. Фотометрический датчик ближнего обнаружения 6 производит измерение отраженного светового потока. Потенциометрический силометрический датчик 12, расположенный на тяге привода пальцев схвата, выдает сигнал, пропорциональный усилию сжатия пальцев.

Робот-манипулятор может быть как неподвижным, так и подвижным, причем передвигаться он может как при помощи колес, так и при помощи «ног». К датчикам состояния шагающего устройства (число ног у шагающего устройства не менее двух) относятся: датчики положения звеньев, измеряющие угловые координаты органов перемещения; датчики усилий в приводах; датчики горизонта, измеряющие угловые отклонения координат, связанных с платфор-

мой шагающего устройства, от координат, связанных с горизонтом (гировертикаль). К датчикам состояния внешней среды относятся: тактильные датчики, фиксирующие соприкосновение «стопы» органа перемещения с поверхностью; локационные датчики, измеряющие высоту платформы над поверхностью; локационные датчики, измеряющие высоту опорной части ноги над поверхностью.

Итак, мы видим, что робот – это сложная система, снабженная большим количеством различного рода информационных устройств. Для того чтобы целесообразно использовать информацию, получаемую от датчиков, необходимо организовать систему обработки чувствительной информации. Структура этой системы (как и структура всего робота) построена по иерархическому принципу, причем, чем выше уровень обработки информации, тем меньше ее избыточность и тем более обобщенные характеристики передаются на следующие уровни. Следует иметь в виду, что обработанная информация поступает на разные уровни системы управления роботом. Так, например, информация о положении звеньев манипулятора обрабатывается системой, обладающей всего одним уровнем обработки, на выходе которого имеются сигналы, пропорциональные величинам углов между звеньями манипулятора. Эта информация поступает в низшие уровни системы управления манипуляторов, поскольку она необходима прежде всего для управления движениями руки (как сигналы обратной связи о положении звеньев).

3.7. Системы обработки информации

Сигналы с информационных систем роботов поступают в вычислительную машину, туда же поступают приказы человека-оператора. В ЭВМ происходит сложный процесс обработки этой информации и выработки управляющих сигналов на двигательные системы робота. В процессе обработки информации осуществляется ее многократное преобразование.

Системы обработки информации для роботов в зависимости от мощности используемых вычислительных систем можно разделить на три группы: малые, средние и большие.

Малые системы обработки информации. К простейшему типу роботов следует отнести упомянутые выше промышленные роботы-манипуляторы («Юнимэйт», «Версатран»). Информационные системы таких роботов состоят только из датчиков, измеряющих

углы поворота отдельных сочленений, и иногда добавляемых тактильных датчиков. Поскольку промышленные роботы предназначены для выполнения повторяющихся, сравнительно несложных операций, то системы обработки информации в них представляют собой просто запоминающие устройства (на магнитном барабане или магнитной ленте), снабженные устройствами записи, считывания и несложными логическими схемами.

Функция системы обработки информации в этом случае заключается в следующем:

- запись в запоминающее устройство программы поведения робота, задаваемой в символической форме (с помощью ключей, кнопок и т. п., находящихся на пульте);
- запись программы, задаваемой в коде движений (с помощью обучающего устройства, позволяющего при обучении перемещать руки робота в любых направлениях);
- автоматическое выполнение записанной программы.

В качестве запоминающего устройства для робота «Юнимэйт» используется магнитный барабан. Управляющие сигналы записываются в виде импульсов той или иной полярности. Считывание всегда происходит без разрушения записанной информации. Для управления движением руки «Юнимэйт», обладающей пятью степенями подвижности, вполне достаточно 80 двоичных разрядов. Во время отработки или записи того или иного движения барабан неподвижен. Таким образом, на магнитном барабане записаны требуемые значения углов для каждой степени подвижности. Разница между этими величинами и текущими значениями углов образует сигналы рассогласования, которые являются управляющими сигналами для гидроприводов. После того как сигналы рассогласования, соответствующие всем степеням подвижности, становятся равными нулю, барабан поворачивается с помощью шагового электродвигателя на один шаг и система переходит к выполнению следующей фазы движения.

На магнитных барабанах, используемых в «Юнимэйт», может быть записано до 200 последовательностей различных команд управления.

Принцип работы робота «Версатран» такой же, только в качестве запоминающего устройства использована магнитная лента.

Малые системы обработки информации позволяют роботу функционировать только в стационарной внешней среде, изменяющейся заранее предусмотренным образом.

Средние системы обработки информации. В подобных системах используются вычислительные машины средней мощности. Роботы, оснащенные средними системами обработки информации, могут быть снабжены полным комплектом информационных систем, описанных выше. Исключение может составлять только зрительная система, поскольку распознавание зрительных образов в реальном масштабе времени требует использования мощных вычислительных средств. В связи с ростом возможностей микропроцессоров в настоящее время используются различные многопроцессорные системы для управления роботами.

3.8. Построение второго уровня управления манипулятором

Манипулятор как система может быть описан с помощью конечных и дифференциальных уравнений. Но попытки определить с помощью классических методов механики управляющие воздействия, которые необходимо приложить к приводам манипулятора, наталкиваются на серьезные трудности при решении обратных задач для уравнений Лагранжа.

Метод избыточных переменных позволяет решить эту проблему управления. Действительно, если кинематические цепи манипулятора можно описать конечными уравнениями, то с помощью методики, описанной в предыдущей главе, можно определить структуру эквивалентных им дифференциальных уравнений с неопределенными коэффициентами. Назначая соответствующим образом эти произвольные коэффициенты, можно задавать самые разнообразные движения системе, причем по аналогии с человеческим телом сохраняется значительный произвол в выполнении тех или иных движений манипулятора.

Избыточность в структуре эквивалентных уравнений может быть использована как для борьбы с помехами, перераспределения управляющих сигналов при выходе из строя отдельных исполнительных приводов, регулирования темпа движения (по аналогии с системами с коррекцией аргумента), так и для осуществления различных целенаправленных движений. Ниже наибольшее внимание будет уделяться именно последнему аспекту.

Кинематические схемы манипуляторов включают в себя звенья с вращательным и поступательным движением и насчитывают до 10 степеней подвижности.

Конструктивная схема одного из манипуляторов (рис. 3.21, а, б) включает звенья с гидроцилиндрами, длина которых L_i , $i = 1, 2, 3, 4$, изменяется в пределах ($L_{i0} \pm 35$) мм; a_i, b_i – звенья, длина которых не изменяется. Удобнее рассматривать в качестве изменяемых

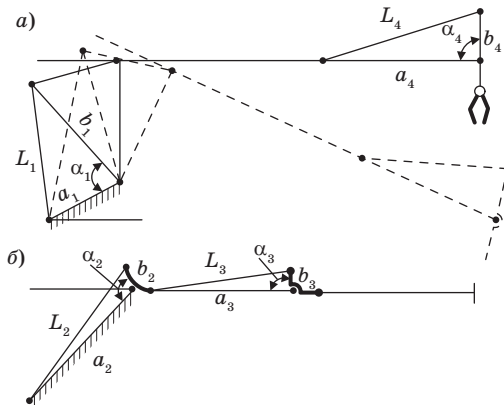


Рис. 3.21. Конструктивная схема манипулятора: а – вид сбоку; б – вид сверху

координат не длину звеньев L_i , а углы α_i . Связь между ними определяется с помощью уравнений

$$L_i^2 - a_i^2 + b_i^2 - 2a_i b_i \cos \alpha_i = 1, 2, 3, 4$$

или с помощью уравнений Пфaffа

$$2L_i dL_i + 2a_i b_i \sin \alpha_i d\alpha_i = 0, i = 1, 2, 3, 4. \quad (3.3)$$

В соответствии с этой конструктивной схемой построена кинематическая схема (рис. 3.22), откуда координаты схвата манипулятора (точка С) определяются с помощью уравнений

$$\begin{aligned} x_c &= l_1 \sin \alpha_1 \sin \alpha_2 + l_2 \sin \beta_1 \sin \beta_2 + l_3 \sin \gamma_1 \sin \gamma_2; \\ y_c &= \sin \alpha_1 \cos \alpha_2 + l_2 \sin \beta_1 \cos \beta_2 + l_3 \sin \gamma_1 \cos \gamma_2; \\ z_c &= l_1 \cos \alpha_1 + l_2 \cos \beta_1 + l_3 \cos \gamma_1, \end{aligned} \quad (3.4)$$

где

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \alpha_1 + \beta'_1, \beta_2 = \alpha_1 + \alpha_3; \gamma_1 = \alpha_1 + \beta''_1 + \alpha_4, \\ \gamma_2 &= \alpha_1 + \alpha_3 + \gamma'_2; \beta'_1 = \text{const}, \beta''_1 = \text{const}; \gamma'_2 = \text{const}; \\ l_1 &= \text{const}, l_2 = \text{const}, l_3 = \text{const}. \end{aligned}$$

После дифференцирования уравнений (3.4) получаем три уравнения Пфаффа. Если задается скорость точки С, то эти уравнения имеют вид

$$\sum_{i=1}^4 Q_{ij} da_i - f_j dt = 0, \quad j = 1, 2, 3, \quad (3.5)$$

где Q_{ij} – функции a_i ($i = 1, 2, 3, 4$); $\varphi_1 = x_c$, $\varphi_2 = y_c$, $\varphi_3 = z_c$.

Для уравнений Пфаффа (3.5) может быть построена эквивалентная система дифференциальных уравнений с неопределенными коэффициентами, число которых в данном случае для $n = 9$, $m = 7$ будет равно $s = C_n^{m+1} = 9$. Наибольший интерес из этих уравнений представляет уравнение для времени. Полагая $t = x_g$, получим

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} = & u_2 D_{1234567} + u_3 D_{1234568} + u_4 D_{1234578} + u_5 D_{1234678} + \\ & + u_6 D_{1235678} + u_7 D_{1245678} + u_8 D_{1345678} + u_9 D_{2345678} = 1. \end{aligned}$$

Коэффициенты u_s могут быть любыми, но обязательно должно выполняться это уравнение синхронности. При выходе из строя привода по любой одной переменной α_i структура может быть перестроена так, что скорость по этой переменной будет равна нулю.

Уравнения (3.4) можно и не присоединять к системе (3.5), организовав их решение в отдельном вычислительном блоке.

Часто затруднительно задавать скорости в виде фиксированных функций времени, поэтому в рассмотрение следует ввести сами переменные x_c , y_c , z_c . Эквивалентная система дифференциальных уравнений, построенная по уравнениям (3.5), в этом случае будет содержать $s = C_7^4 = 35$ произвольных коэффициентов, которые могут быть назначены так, чтобы осуществить различные режимы движения манипулятора. Например, можно обеспечить такие движения, что

$$dx_c/dt > 0, \quad dy_c/dt = dz_c/dt = 0 \text{ или}$$

$$dx_c/dt = dz_c/dt = 0, \quad dy_c/dt < 0 \text{ и т. д.}$$

Если задана фиксированная точка, к которой должен приблизиться схват манипулятора, то, введя дополнительную переменную

$$\Delta = (x_{ц} - x_c)^2 + (y_{ц} - y_c)^2 + (z_{ц} - z_c)^2,$$

где $x_{ц}$, $y_{ц}$, $z_{ц}$ – координаты цели, можно присоединить это уравнение к уравнениям (3.5), и для этой исходной системы в эквивалентной системе дифференциальных уравнений будет содержаться

$s = C_5^8 = 56$ произвольных коэффициентов, которые могут быть заданы так, чтобы Δ устойчиво стремилась к нулю.

Аналогичным образом назначаются коэффициенты u_s при движении схвата манипулятора в заданном направлении, по заданной кривой или поверхности.

Во всех рассмотренных случаях в структурах дифференциальных уравнений после задания движения остаются произвольные коэффициенты, которые могут быть использованы для оптимизации динамических свойств системы. Например, с помощью подбора свободных коэффициентов u_s можно минимизировать затраты кинетической энергии при выполнении заданного движения.

Таким образом, с помощью неопределенных коэффициентов оказывается возможным управлять манипулятором при задании: 1) траектории в виде пересечения поверхностей, 2) направления движения в довольно общем виде; 3) требования минимизации или максимизации расстояния между заданной точкой и схватом.

3.9. Уровни управления шагающей машиной

При автоматизации ручных и вспомогательных работ чрезвычайно важно, чтобы робот-манипулятор обладал способностью передвигаться в любом направлении по поверхности произвольного профиля (пол цеха, лестница, пересеченная местность и т. п.). Наиболее удобно с этой точки зрения использовать для передвижения шагающие устройства, управляемые ЭВМ. Прежде чем перейти к описанию конкретных алгоритмов, рассмотрим кратко историю вопроса.

Основные особенности шагающих машин, управляемых ЭВМ.

В настоящее время ведутся большие работы по построению шагающих машин, которые имеют ряд преимуществ перед другими видами транспорта. Несмотря на то что работы такого рода ведутся около 100 лет, существенных результатов до сих пор достигнуто не было, поскольку задача управления шагающей машиной весьма сложна, и она не может быть решена чисто механическим путем. Только с внедрением развитой вычислительной техники появляется реальная возможность построения шагающих машин, имеющих практическое значение.

Первый вопрос, с которым сталкивается конструктор при проектировании шагающих машин, – это выбор количества ног. Бесчисленное множество решений этого вопроса предложено приро-

дой. Представители животного мира обладают самым различным количеством ног. Так, у некоторых насекомых шесть ног, у членистоногих – восемь, наземные млекопитающие имеют четыре ноги и, наконец, человек – две. Таким образом, только высокоорганизованные живые организмы, имеющие развитый аппарат стабилизации, имеют две и четыре ноги. Насекомые и членистоногие, имеющие шесть и восемь ног, во время шагания сохраняют ЦТ внутри опорного многоугольника, и задача управления движением у них значительно упрощается. По этому же принципу, как отмечал П. Л. Чебышев, необходимо строить и шагающие машины, чтобы избежать дополнительного усложнения конструкции за счет введения механизма стабилизации. Поскольку в то время информационно-вычислительная техника не была развита, вопрос стабилизации ЦТ выглядел весьма сложным. В настоящее время, когда задача построения движения и стабилизации ЦТ может решаться вычислительной машиной на основе информации о состоянии поверхности и окружающей среды, появляется реальная возможность построить шагающую машину с шестью, четырьмя и даже двумя ногами. Количество ног при этом будет определять сложность вычислительного устройства.

Первая попытка создать шагающую машину была сделана П. Л. Чебышевым. Его «стопоходящий механизм» состоял из четырех лямбдообразных прямил, жестко соединенных между собой. Траектория опорной точки ноги в этом механизме сходна с траекторией стопы человека при ходьбе. Механизм мог передвигаться только по прямой. В наше время были сделаны попытки создать шагающую машину на основе механизма Чебышева, но практического значения она не имела.

За рубежом, в частности в США, ведутся большие работы по созданию шагающих машин. Одна из них – машина типа «шагающий вагон». Она может направляться в любую сторону либо при помощи руля, присоединенного к передней ноге, либо при помощи координированного движения ног. Между передними и задними ногами расположен пассажирский вагон на 4–6 человек. Движение ног координируется таким образом, что, когда левая передняя нога выдвигается полностью вперед, то также полностью выдвигается и правая задняя нога. Шагающий механизм, управляющий ногами каждой пары, сконструирован таким образом, что попеременно нога поднимается, выдвигается вперед, опускается и возвращается в исходное положение.

Представляет интерес и другой проект – механический жук. Он имеет восемь ног, которые приводятся в действие от электродвигателя через цилиндрическую зубчатую передачу и кулачки. Во время ходьбы ноги совершают колебательные движения.

Известные в настоящее время проекты шагающих устройств условно можно разбить на четыре класса. К первому относятся устройства, сконструированные на основе так называемого траекторного синтеза. У машин этого класса координация движений ног осуществляется чисто механическим путем с применением многозвенных кинематических цепей со сложной структурой. Процесс шагания в этом случае представляет собой жесткий двигательный стереотип, оптимальный по затратам энергии на перемещение для определенных условий движения, однако совершенно исключающий возможность приспосабливаться к непрерывно меняющимся условиям дороги. Отсутствие этого качества практически сводит на нет все достоинства шагающих устройств. Характерным примером устройств этого класса являются «стопоходящая» машина Чебышева и механизм Муратори.

Ко второму классу относятся машины, сконструированные на основе моделирующего синтеза. При этом в какой-то мере осуществляется копирование структуры конечностей животных, поэтому траектории движения конечностей становятся не жесткими, что принципиально создает возможность увеличения приспособительных свойств устройства к условиям дороги. Однако крайне примитивные устройства управления конечностями, а также сильно упрощенные кинематические модели ног сильно уменьшают возможность этого класса машин; кроме того, такие шагающие устройства нерациональны с энергетической точки зрения. Примером шагающего устройства подобного типа является шагающий экскаватор.

Возникновение значительных динамических нагрузок в опорах шагающего устройства, вызванных большими ускорениями из-за малого времени разгона и торможения, привело к необходимости разработки третьего класса шагающих устройств, построенных по методу динамического синтеза. Примером таких устройств может служить одно из шагающих устройств Дж. Шигли, имеющее шестнадцать опор (по четыре в каждом углу платформы), причем фазы движения их подобраны таким образом, чтобы во время ходьбы уравновесить динамические нагрузки. В этом случае вес шагающей машины значительно увеличивается, что ведет к нерациональным

энергетическим затратам. Решение проблемы уравнивания динамических нагрузок следует, по-видимому, искать в исследовании динамики привода, а не самих опор.

К четвертому классу относятся шагающие устройства, построенные на педипуляторном принципе. В этих устройствах ноги человека-оператора связаны через следящие системы с механизмами, являющимися аналогами ноги. При этом положение механической ноги в пространстве соответствует в некотором масштабе положению ноги оператора, и шагание оператора приводит к аналогичному движению механической ноги. В шагающих устройствах этого класса приспособляемость к непрерывно меняющимся условиям дороги, выбор траектории и закона движения ног, задачу сохранения равновесия человек берет на себя. Очевидно, большим недостатком этих машин является быстрая и значительная утомляемость человека-оператора, целиком поглощенного решением задачи управления, ограниченные возможности человека как устройства управления, в частности, при осуществлении высокоскоростных движений.

Использование ЭВМ для управления шагающими машинами позволяет устранить недостатки, свойственные шагающим машинам любых типов. ЭВМ, работающая по программе, использующей информацию, которая поступает от датчиков, сигнализирующих о состоянии шагающей машины и характера дороги, обеспечивает целенаправленное перемещение шагающей машины с необходимой координацией движения ног, приспособляемость к условиям дороги, непрерывное сохранение устойчивого равновесия, минимизацию расхода энергии на перемещение.

Выходные сигналы вычислительной машины воздействуют на приводы, управляющие координатами кинематических цепей органов перемещения. Поскольку каждая координата чаще всего имеет индивидуальный привод, управляемый с помощью индивидуального выходного канала ЭВМ, координация движений органов перемещения и отдельных звеньев этих органов происходит на уровне ЭВМ, чем обеспечивается огромная гибкость в осуществлении разнообразных способов движения.

Перейдем к рассмотрению различных методов построения алгоритмов управления шагающей машины.

Методы теории конечных автоматов. Идеи использования теории конечных автоматов для этих целей впервые появились в работах [16, 18].

Нога шагающего устройства представляет собой разомкнутую кинематическую цепь, состоящую из нескольких звеньев (суставов). Каждый сустав может находиться (по допущению авторов), по крайней мере, в четырех состояниях: свободном (полностью расслабленном), зафиксированном (застопоренном), состоянии опускания или подъема конечности. В связи с этим авторы включили в систему, воспроизводящую функционирование конечности, силовые элементы, способные принимать указанные выше состояния. Такие силовые элементы названы кибернетическими исполнительными органами. Таким образом, кибернетический исполнительный орган есть элемент комбинационной схемы (элемент без памяти) с двумя двоичными входами и одним непрерывным выходом (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Передаточная функция кибернетического исполнительного органа

Вход	Состояние исполнительного органа	Выход
00	0	Расслабление
01	1	Опускание конечности
10	2	Подъем конечности
11	3	Стопорение

Главной особенностью использования ЭВМ для управления роботами-манипуляторами является выработка сигналов управления, учитывающих сигналы обратной связи, поступающие от чувствительных систем робота.

В качестве иллюстрации использования теории конечных автоматов рассмотрим модель системы управления для движения исследуемой конечности, состоящей из трех суставов: колена, лодыжки и пальцев. Будем считать, что суставы колена и лодыжки снабжены кибернетическими исполнительными органами; сустав у пальцев – пассивный (с пружиной, распрямляющейся при отсутствии нагрузки). На рис. 3.23 представлена последовательность положений искусственной ноги в цикле перемещения.

Первый этап при синтезе системы управления заключается в декодировании событий, представленных на рис. 3.23, в термина выходов пороговых элементов. Для данного случая необходимо иметь восемь пороговых элементов. Второй шаг синтеза заключается в согласовании состояния исполнительного органа с выходом исполнительного элемента. Очевидно, что такое согласование неоднозначно.

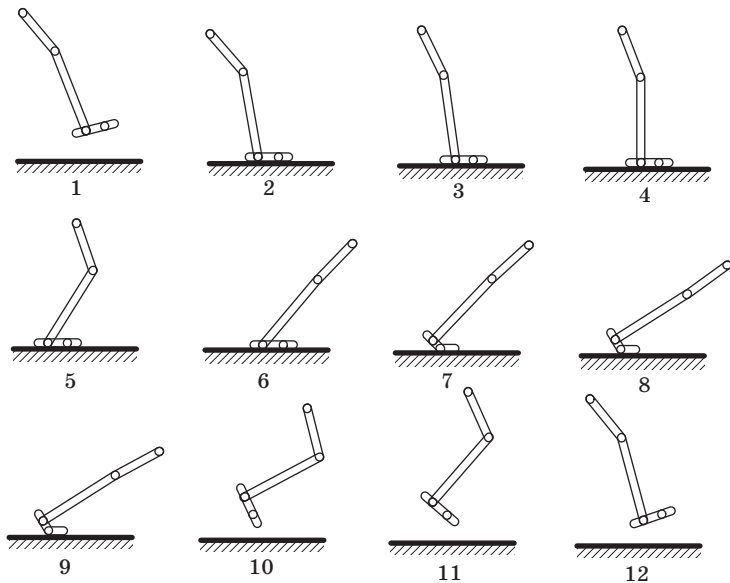


Рис. 3.23. Фазы движения нижней конечности человека

На основании подобных рассуждений была построена четырехногая шагающая машина, управляемая вычислительным устройством. На рис. 3.24 изображен граф соответствующего автомата.

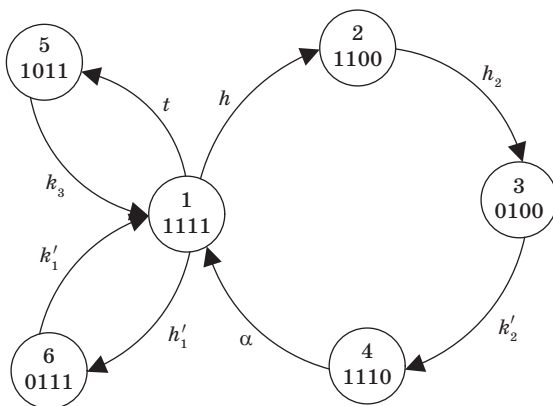


Рис. 3.24. Граф асинхронного автомата, управляющего перемещением ноги

Синтез алгоритмов шагания с помощью метода избыточных переменных. Для того чтобы приблизить шагающую машину по своим характеристикам к живому организму, нужно, чтобы она обладала достаточным количеством способов передвижения в зависимости от изменения условий внешней среды. У наземных млекопитающих известно множество различных способов передвижения и проведена четкая их классификация. В настоящее время принято различать симметричные и асимметричные аллюры с латеральной и диагональной последовательностью движений конечностей. При симметричных аллюрах за движением передней следует движение задней конечности, а при асимметричных – за движением двух передних следует движение двух задних конечностей. При латеральной последовательности за движением передней конечности следует движение задней конечности той же стороны, а при диагональной последовательности – противоположной конечности. Существует семь симметричных аллюров: самый медленный диагональный шаг, нормальный шаг, быстрый шаг, медленный рысеобразный шаг, медленная рысь, медленный иноходеобразный шаг, медленная иноходь.

Некоторые из перечисленных аллюров могут быть применены в четырехногих шагающих машинах. Для медленно двигающихся машин необходимо обеспечить устойчивость на протяжении всего цикла движения. При моделировании такого типа машин нужно предусматривать возможность изменения ритма локомоции в сторону рысей, а тем самым независимого изменения ритма работы двигателей отдельных конечностей. Для быстроходных шагающих машин по аналогии с млекопитающими можно применять асимметричные аллюры несвободного полета.

Более простой в управлении является шестиногая шагающая машина, хотя в ней за счет увеличения числа опор несколько усложняется механическая часть. В четырехногой машине необходим либо автомат стабилизации, либо наличие дополнительных боковых степеней подвижности опор для обеспечения устойчивости.

Для шестиногой машины можно принять схему передвижения 3–3. В этом случае (рис. 3.25) ЦТ машины O будет перемещаться внутри шестиугольника $ABCDEF$. Если опоры имеют не меньше трех степеней подвижности, то при равномерном расположении опор $ABCDEF$ направление движения безразлично.

При схеме шагания 3–3 машина сможет преодолевать рвы шириной меньше половины шага. Последовательность шагания следующая: сначала ноги D, E, F перемещаются в положение $D_1, E_1,$

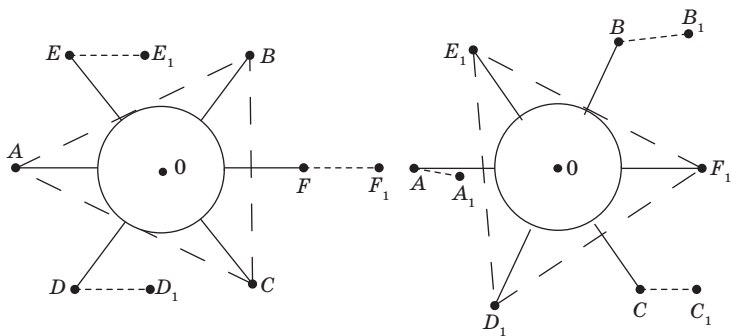


Рис. 3.25. Схема шагания шестиногой машины

F_1 , а затем ноги А, В, С – в положение $A_1B_1C_1$ и т. д. Такую схему шагания выгодно применять при ходьбе по местности с небольшими уклонами, впадинами и буграми, так как она обеспечивает максимальную скорость движения. Для преодоления более серьезных препятствий (широких рвов, больших камней и др.) можно использовать элемент прыжка. При этом шестиногая машина может отталкиваться тремя ногами, а другие три использовать для маха (что придаст машине дополнительное ускорение за счет сил инерции) и на них приземляться. Привод в этот момент должен работать на форсированном режиме. Это можно осуществить от гидрогазовых или пороховых аккумуляторов. На рис. 3.26 показана схема ноги с гидропроводом.

Наличие столь разнообразных способов передвижения вызывает необходимость их систематизации и преобразования сигналов управления.

Таким образом, можно получить матрицы для всех интересных нас походок. Имея систему датчиков, можно составить матрицы окружающей среды. Аналогично составляются матрицы задания. Матрицы задания и окружающей среды вводятся в ЭВМ, которая подбирает соответствующие им матрицы управления приводами.

Аналогично могут быть составлены матрицы и для машины с любым количеством ног. Такой способ описания движения шагающей машины дает возможность сформировать модели управления ею в терминах конечных автоматов.

Выше был рассмотрен синтез модели шагающего робота на базе теории конечных автоматов. Но при описании в терминах конечных автоматов затруднен анализ динамики, управления даже от-

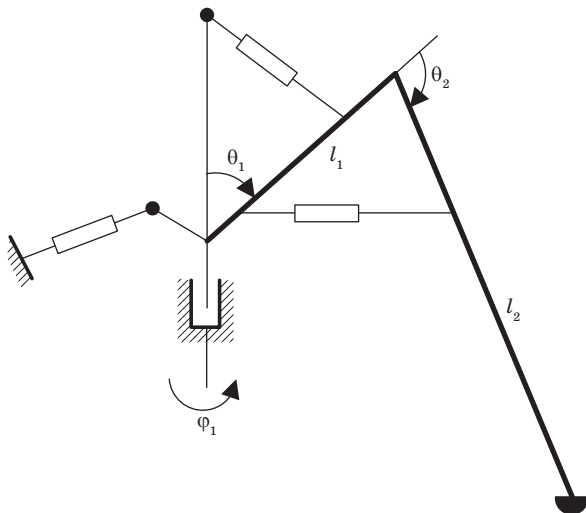


Рис. 3.26. Кинематическая схема ноги с гидроприводом

дельной ногой, не говоря о всей машине. Поэтому далее строится математическая модель шагающего робота на основе теории пересекающихся дифференцируемых многообразий [15, 16].

Каждую ногу будем рассматривать как отдельный генератор функций с поведением, заданным с точностью до его внутренних ограничений, определяемых конструкцией ноги. Если число степеней подвижности ноги равно n и если внутренние ограничения

$$F_j(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, j = 1, 2, \dots, m, n > m,$$

то в структуре дифференциальных уравнений

$$dx_i/dt = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_s, t), i = 1, 2, \dots, n$$

будут содержаться произвольные коэффициенты u_s , которые могут быть использованы для задания алгоритма шагания. На эти дифференциальные уравнения накладываются ограничения, во-первых, от общего основания, на котором закреплены ноги, и, во-вторых, от опорной поверхности. Опорная поверхность может рассматриваться как модель окружающей среды, и в этом случае может быть использована модель процесса развития для адаптации ног к опорной поверхности [18]. Прежде чем перейти к описанию алгоритмов шагания, построенных по методу избыточных переменных, рассмотрим аппаратное обеспечение автономного шагающего устройства, управляемого ЭВМ.

В состав шагающего устройства входят следующие функциональные блоки: 1) вычислительное устройство, вырабатывающее управление приводами степеней подвижности органов перемещения; 2) устройства сбора информации о состоянии шагающего устройства и окружающей среды; 3) блок питания; 4) блок приводов степеней подвижности органов перемещения.

Сбор информации осуществляют датчики положения звеньев, измеряющие угловые координаты органов перемещения; тактильные датчики, фиксирующие соприкосновение стопы ноги с дорогой; датчики горизонта, измеряющие угловые отклонения координат, связанных с платформой, от координат, связанных с горизонтом; устройства, измеряющие высоту платформы над поверхностью; устройства, измеряющие высоту опорной части ног над поверхностью.

Вычислительное устройство, на основе которого может быть реализована система управления, выполняет следующие функции: формирует стереотипы походки с коррекцией этого стереотипа в зависимости от рельефа дороги; обеспечивает устойчивое равновесие шагающего устройства; стабилизирует горизонтальное положение платформы независимо от рельефа; поддерживает заданную высоту платформы над горизонтом; обеспечивает расшифровку команд человека-оператора.

Траектории вынесения стоп поднятых ног вперед задаются параллельными траекториям движения во время рабочей фазы. В процессе выноса ног осуществляется контроль высоты положения стоп над поверхностью дороги. Если высота любой из стоп становится меньше допустимой, то производится подъем ноги до достижения нужной высоты, а затем продолжается вынос ног вперед. Конец движения определяется одним из условий: 1) достигнуто ограничение по длине шага; 2) одна из степеней подвижности свободных ног достигла механического ограничения; 3) поступил сигнал «касание» с одного из тактильных датчиков.

Опускание стоп ног производится по нормали к горизонту. Конец движения для каждой ноги определяется моментом касания поверхности, а конец этапа – касанием поверхности всеми тремя ногами.

Если хотя бы одна нога не может достичь опоры, то происходит включение программы локального поиска, которая здесь не рассматривается.

Вспомогательная фаза. В этой фазе с помощью блоков управлением равновесием и перемещением происходит восстановление го-

горизонтального положения и заданной высоты платформы, а также смещение ЦТ в зону равновесия.

Для достижения горизонтального положения используется информация с датчиков горизонта, определяющих отклонение плоскости платформы шагающего устройства от горизонтальной плоскости. Восстановление горизонтального положения платформы осуществляется за счет задания вертикального перемещения отдельным опирающимся ногам. Восстановление заданной высоты платформы происходит на основе использования информации от датчика высоты платформы за счет задания одновременного вертикального движения всем трем опирающимся ногам.

Введение ЦТ шагающего устройства в зону устойчивости производится с помощью информации, поступающей с датчиков усилий, расположенных в стопах опирающихся ног. Очевидно, при заданной высоте расположения над поверхностью максимальный запас устойчивости будет иметь место при равенстве усилий, возникающих в опорах (при $v = 0$).

Зона достаточной устойчивости может быть определена через разность усилий в максимально и минимально нагруженных опорах, которая не должна превосходить допустимой величины. Введение ЦТ шагающего устройства в зону допустимой устойчивости достигается за счет задания горизонтального движения платформы.

Непрерывная походка типа 3-3 образуется путем слияния фаз прерывистой походки. Непрерывная походка экономичнее прерывистой и обеспечивает большую скорость перемещения при таких же динамических нагрузках, однако она может использоваться только при перемещении по сравнительно ровной поверхности.

Другими возможными типами походок являются походки типа 4-2, 5-1. Эти походки отличаются тем, что в любой момент времени шагающее устройство опирается не менее чем на 4 или 5 ног. Этот тип походок целесообразен при движении по очень сложному рельефу для повышения устойчивости шагающего устройства, а также в случае выхода из строя одной или двух ног.

Таким образом, рассмотренное шагающее устройство работает по программе, обеспечивающей перемещение с заданной скоростью в любом направлении при гибкой адаптации к непрерывно изменяющемуся рельефу местности. Алгоритмы управления обеспечивают комфортное перемещение по сильно пересеченной местности (с непрерывным сохранением горизонтального положения платформы) и преодоление препятствий типа «ров», «барьер», предель-

ные величины которых определяются геометрическими размерами ног шагающего устройства.

Работа человека-оператора существенно облегчена по сравнению с педипуляторным принципом управления и не отличается от работы шофера; возможна дальнейшая автоматизация шагающего устройства путем введения еще одного уровня управления. Шагающее устройство может функционировать при выходе из строя отдельных приводов ног, заклинивании шарниров, выходе из строя самих ног.

Рассмотрим целостный подход к построению алгоритма шагающей машины, для чего вернемся к анализу уровневой структуры.

Первый уровень управляет движением каждой отдельной ноги машины во время рабочего и свободного движений в соответствии с командами, которые вырабатываются вторым уровнем.

Второй уровень координирует движение всех ног и производит построение походки в соответствии с сигналами датчиков соприкосновения, усилий и положения отдельных ног и платформы и с командами третьего уровня.

Третий уровень задает тип походки, скорость, направление перемещения. На третьем уровне осуществляется глобальная ориентация шагающей машины. В реальной машине управление на третьем уровне осуществляется человеком-оператором.

Первый уровень управления в данном случае аналогичен второму уровню управления манипулятором, который рассматривался выше. Поэтому перейдем к рассмотрению второго уровня управления шагающей машины. С помощью конечных алгебраических уравнений опишем конструкцию шестиногой машины (рис. 3.27 а, б). Точки A_i ($i = 1, 2, \dots, 6$) – это места прикрепления ног к платформе, в этих точках имеются две степени подвижности – углы θ_1^i и θ_3^i ($i = 1, 2, \dots, 6$). В точках B_i ($i = 1, 2, \dots, 6$) помещаются третьи суставы ног с одной степенью подвижности – с углами θ_2^i ($i = 1, 2, \dots, 6$).

Отрезки $A_i B_i = l_1$, $B_i C_i = l_2$ ($i = 1, 2, \dots, 6$) полагаем постоянными и одинаковыми для всех ног. Определим координаты конечных точек ног C_i ($i = 1, 2, \dots, 6$) через углы θ_1^i , θ_2^i , θ_3^i в правой координатной системе. Радиус платформы машины равен R .

Из рис. 3.27 получаются уравнения ног:

$$\begin{aligned} x_{C_i} &= x_{A_j} + k_1' [l_1 \sin \theta_1^i + l_2 \sin(\theta_2^i - \theta_1^i)] \sin \theta_3^i; \\ y_{C_i} &= y_{A_j} + k_1'' [l_1 \sin \theta_1^i + l_2 \sin(\theta_2^i - \theta_1^i)] \cos \theta_3^i; \\ z_{C_i} &= z_{A_i} + l_1 \cos \theta_1^i - l_2 \cos(\theta_2^i - \theta_1^i), \end{aligned} \quad (3.6)$$

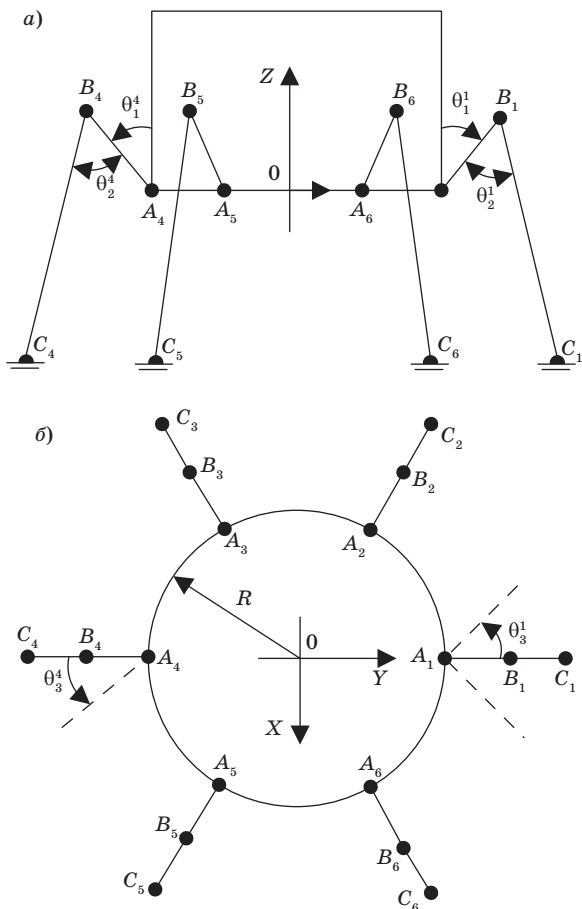


Рис. 3.27. Кинематическая схема шестиногой шагающей машины

$$i = 1, 2, \dots, 6,$$

где коэффициенты k_1' и k_1'' учитывают разницу в расположении каждой ноги.

Для полного описания шагающей машины к этим уравнениям ног следует присоединить группу уравнений платформы:

$$(x_{A1} - x_{A2})^2 + (y_{A1} - y_{A2})^2 + (z_{A1} - z_{A2})^2 = R^2;$$

$$(x_{A2} - x_{A3})^2 + (y_{A2} - y_{A3})^2 + (z_{A2} - z_{A3})^2 = R^2;$$

$$(x_{A3} - x_{A4})^2 + (y_{A3} - y_{A4})^2 + (z_{A3} - z_{A4})^2 = R^2;$$

$$\begin{aligned}
(x_{A4} - x_{A5})^2 + (y_{A4} - y_{A5})^2 + (z_{A4} - z_{A5})^2 &= R^2; \\
(x_{A5} - x_{A6})^2 + (y_{A5} - y_{A6})^2 + (z_{A5} - z_{A6})^2 &= R^2; \\
(x_{A6} - x_{A1})^2 + (y_{A6} - y_{A1})^2 + (z_{A6} - z_{A1})^2 &= R^2; \\
(x_{Aj} - x_{A0})^2 + (y_{Aj} - y_{A0})^2 + (z_{Aj} - z_{A0})^2 &= R^2; \\
ax_{Ai} + by_{Ai} + cz_{Ai} + d &= 0, \\
i &= 1, 2, \dots, 6,
\end{aligned} \tag{3.7}$$

где x_0, y_0, z_0 – координаты центра платформы; a, b, c, d – параметры плоскости платформы.

Таким образом, для задания положения платформы может использоваться система из 18 уравнений, объединяющая координаты семи точек. Задание координат любой из этих точек и параметров плоскости полностью определяет положение платформы.

По уравнениям (3.6), (3.7) в соответствии с методом избыточных переменных можно построить систему дифференциальных уравнений с неопределенными коэффициентами, которая и может быть использована для построения алгоритмов управления исполнительными приводами суставов $O\{A_i, B_i\}$ ($i = 1, 2, \dots, 6$) в зависимости от параметров движения платформы, задаваемых с верхнего уровня управления, и в зависимости от выбранного типа походки и рельефа местности. Ввиду громоздкости этих алгоритмов рассмотрим идеализированную модель, в которой все точки A_i ($i = 1, 2, \dots, 6$) совпадают с точкой O , и вместо семи точек платформы будем рассматривать движение одной точки с координатами x_0, y_0, z_0 . В этом случае сохраняются лишь уравнения ног в виде

$$\begin{aligned}
xc_i &= x_0 + k'_i [l_1 \sin \theta_1^i + l_2 \sin(\theta_2^i - \theta_1^i)] \sin \theta_3^i; \\
yc_i &= y_0 + k''_i [l_1 \sin \theta_1^i + l_2 \sin(\theta_2^i - \theta_1^i)] \cos \theta_3^i; \\
zc_i &= z_0 + l_1 \cos \theta_1^i - l_2 \cos(\theta_2^i - \theta_1^i), \\
i &= 1, 2, \dots, 6.
\end{aligned}$$

При задании походки задается закон изменения во времени координат конечных точек C . Будем рассматривать походку 3–3, когда платформа опирается по меньшей мере на три ноги, а три другие переносятся вперед. Проекция ЦТ платформы все время должна находиться внутри опорного треугольника. Исходя из этого условия и задается закон изменения координат конечных точек ног C_i ($i = 1, 2, \dots, 6$). В этой походке можно различать следующие фазы.

– Все шесть ног опираются на землю, скорости всех точек C_i равны нулю, точка O перемещается в заданном направлении с заданной скоростью. Это – фаза качания на шести ногах.

– Платформа опирается на три ноги, скорости точек C_1 , C_3 , C_5 равны нулю, концы трех других ног совершают перемещение по заданному закону, например по циклоиде. Точка O при этом перемещается с заданной скоростью, в этой фазе осуществляется качание на трех ногах, три другие ноги переносятся до тех пор, пока не коснутся поверхности.

– Платформа опирается на шесть ног, скорости всех точек C_i ($i = 1, 2, \dots, 6$) равны нулю. Совершается качание на шести ногах, точка O перемещается в заданном направлении с заданной скоростью.

– Платформа опирается на три ноги, скорости точек C_2 , C_4 , C_6 равны нулю, концы трех других ног совершают перемещение по заданному закону. Точка O перемещается с заданной скоростью: осуществляется качание на трех ногах, три другие переносятся до тех пор, пока не коснутся поверхности, о чем сигнализируют датчики соприкосновения.

5. Платформа опирается на шесть ног, скорости всех точек C_i ($i = 1, 2, \dots, 6$) равны нулю, совершается качание на шести ногах, точка O перемещается с заданной скоростью и т. д.

Далее строится эквивалентная система дифференциальных уравнений с неопределенными коэффициентами для (3.6) и (3.7).

При управлении шагающим устройством важен учет динамических эффектов, что в рамках разрабатываемого подхода можно осуществить, введя в рассмотрение вторые производные от координат. В этом случае с помощью неопределенных коэффициентов в эквивалентной системе дифференциальных уравнений можно задавать не только скорости, но и ускорения, а значит и усилия, развиваемые приводом, и полностью учесть возможности привода при заданных динамических режимах движения машины.

Развитый на основе метода избыточных переменных подход может быть применен к шагающим машинам любой конструкции, с любым числом ног и с любым числом степеней подвижности каждой ноги. В эквивалентных системах дифференциальных уравнений в этом случае будет содержаться не один, а много произвольных коэффициентов, и для облегчения анализа системы следует использовать методы аналитического программирования.

При выходе из строя ног или их суставов можно перестроить алгоритм за счет использования возможностей гибких структур с избыточностью.

Робот, управляемый ЭВМ, является автоматической системой с большой самостоятельностью поведения. Это предъявляет особые требования к его надежности. Действительно, с ростом самостоятельности такой телеономической системы как робот, при неправильном его функционировании может быть нанесен большой ущерб окружающей его внешней среде. Поэтому необходим особый контроль при работе робота, с тем чтобы отключать его в случае грубых отклонений в его поведении.

Основной способ контроля за поведением робота – это примешивание специальных контрольных задач к тем задачам, которые робот должен решать, выполняя некоторую работу. Так как робот является многоцелевой системой, системой с избыточностью, то этот способ контроля осуществим за счет некоторого уменьшения числа основных задач, решение которых может быть заранее неизвестно.

Описанные выше принципы и алгоритмы опираются на практический опыт создания шагающих машин. Под руководством М. Б. Игнатьева шестиногая шагающая машина с вышеописанной кинематической схемой была построена в ЛИАП в 1968 г. по заказу фирмы В. П. Бармина для исследования Луны. Второй экземпляр этой экспериментальной машины находится в Международном институте кибернетики и артоники при ГУАП. В начале 90-х гг. финская фирма PLUSTECH построила шагающую машину для лесозаготовок. Эта мощная машина с установленным на ней манипулятором для спиливания деревьев и переноски стволов спиленных деревьев используется в Германии, Канаде и Финляндии в лесном хозяйстве.

В связи с планами освоения Луны проектируются лунные базы, важным при этом является необходимость учесть особенность лунных суток, ведь день и ночь на Луне длятся примерно по сто земных суток. Исходя из этого стационарная лунная база будет находиться в трудных условиях с большими колебаниями температуры и освещенности. Поэтому родилась идея построить мобильную лунную базу, чтобы база медленно перемещалась, находясь все время в сумеречной зоне. Для создания такой мобильной лунной базы лучше всего подходит шагающее шасси с вышеописанной кинематической схемой.

В настоящее время важным заказчиком на шагающие машины являются спортивные фирмы, которые занимаются экстремальными видами спорта.

Другим важным заказчиком на шагающие машины является «Газпром». Газопроводы протянулись на многие тысячи километров, они изнашиваются и деформируются и нуждаются в диагностике в процессе функционирования, когда по ним передаются большие потоки природного газа. Разработана конструкция шестиногого адаптивного робота, который не нуждается в системе энергообеспечения – энергию можно черпать прямо из газового потока. Эта энергия необходима для перемещения робота внутри трубы в газовом потоке, для работы систем диагностики, для передачи информации на контрольные станции. Робот и система энергообеспечения создают минимальное аэродинамическое сопротивление в трубе.

3.10. Роботы для игры в футбол

Еще в 1949 г. К. Шеннон впервые создал программу для игры в шахматы. С тех пор компьютерные шахматные программы многократно усовершенствовались. В 1974 г. советская шахматная программа «Каисса» завоевала мировое первенство. В 1999 г. шахматная программа выиграла матч с мировым чемпионом Каспаровым. Людям понадобилось 50 лет для создания таких совершенных программ, и теперь уже люди учатся у компьютера играть в шахматы. Помимо шахмат появилась другая амбициозная задача – создать для игры в футбол команду роботов и провести матч с командой людей-чемпионов. Теперь каждый год проходят мировые чемпионаты в двух лигах – в лиге моделирования игры в футбол и в лиге создания реальных роботов для игры в футбол. В ходе достижения этой очень сложной цели будет решено много важных научно-технических задач, и в этом большая польза от участия в таких соревнованиях. В 2007 г. питерская команда заняла первое место на международных соревнованиях в лиге моделирования.

При моделировании таких игр, как шахматы и футбол, можно использовать лингво-комбинаторный подход. Рассмотрим простую футбольную ситуацию – два игрока и мяч, что можно описать как

Игрок 1 + игрок 2 + мяч.

Моделью этого выражения будет уравнение (2.3), где A_1 – характеристика игрока 1; A_2 – характеристика игрока 2; A_3 – характеристика мяча; E_1 – E_3 – изменения этих характеристик соответственно. Эквивалентная система этих уравнений будет иметь вид (2.4), где, манипулируя произвольными коэффициентами, можно управлять поведением игроков и мяча. Если ввести новые переменные: A_4 – характеристику расстояния между игроком 1 и мячом; A_5 – характеристику расстояния между игроком 2 и мячом и их изменения соответственно, то тогда вместо уравнения (2.4) получим уравнение

$$A_1 * E_1 + A_2 * E_2 + A_3 * E_3 + A_4 * E_4 + A_5 * E_5 = 0,$$

разрешив которое относительно изменений E получим систему уравнений

$$E_1 = U_1 * A_2 + U_2 * A_3 + U_3 * A_4 + U_4 * A_5;$$

$$E_2 = - U_1 * A_1 + U_5 * A_3 + U_6 * A_4 + U_7 * A_5;$$

$$E_3 = - U_2 * A_1 - U_5 * A_2 + U_8 * A_4 + U_9 * A_5;$$

$$E_4 = - U_3 * A_1 - U_6 * A_2 - U_8 * A_3 + U_{10} * A_5;$$

$$E_5 = - U_4 * A_1 - U_7 * A_2 - U_9 * A_3 - U_{10} * A_4,$$

где U_1, \dots, U_{10} – произвольные коэффициенты, манипулируя которыми можно обеспечить сближение игроков с мячом. Аналогичным образом моделируется поведение двух команд по 11 игроков в каждой.

3.11. Проблемы создания роботизированного автомобиля для повышения безопасности движения⁵

В настоящее время в Санкт-Петербурге располагаются филиалы 7 крупнейших автомобильных компаний, которые занимаются проблемой создания роботизированных автомобилей совместно с вузами города. Тема обеспечения безопасности автомобиля, участников движения и окружающих актуальна с момента создания первого автомобиля и будет оставаться актуальной до тех пор, пока существуют автомобили.

Жизнь и трудовая деятельность людей неразрывно связаны с транспортом, без которого был бы невозможен технический и соци-

⁵ В написании этого раздела принимал участие аспирант В. Кушнер.

альный прогресс. Автомобиль – одна из самых распространенных машин в мире, число автомобилей растет, и автомобили непрерывно совершенствуются, постепенно превращаясь в роботы. Эта тенденция обусловлена, с одной стороны, усложнением обстановки на дорогах и требованием повысить безопасность, комфортность и экологичность, с другой, – новыми возможностями информационно-вычислительной техники.

Первые вычислительные управляющие комплексы сначала появились в авиации, потом они появились на морских кораблях, а теперь они внедряются в автомобили. Вначале это были микропроцессорные системы для управления двигателем, что позволило снизить расход горючего и уменьшить загрязнение окружающей среды. Потом появились подвески с компьютерным управлением, что позволило повысить безопасность. Появились электронные карты для облегчения ориентации водителя с использованием спутниковых систем типа ГЛОНАСС.

Разработка робота-автомобиля с возможностью ориентации в сложной городской среде без помощи человека – это новый шаг в совершенствовании и автомобиля, и информационно-вычислительных систем для восприятия и обработки зрительной информации о ситуации впереди, позади, справа и слева от автомобиля, для распознавания образов объектов, которые могут появиться с разных сторон, для оценки состояния дороги, для восприятия информации о дорожных знаках и т. д. Накоплен большой научно-технический задел по этим направлениям кибернетики, который может быть с успехом реализован в проекте экспериментального робота-автомобиля. Реализация этого проекта позволяет дополнительно развить эти важные научно-технические направления, к чему проявляют интерес иностранные автомобильной фирмы, размещенные в Санкт-Петербурге.

Цель проекта – разработка экспериментального питерского робота-автомобиля для участия в международных соревнованиях в США и других странах.

Проект состоит из следующих частей.

1. *Выбор базовой модели автомобиля.*
2. *Разработка автоматизированных приводов на руль, тормоза и другие устройства автомобиля.*
3. *Разработка сенсорной системы автомобиля.* Оснащение автомобиля лазерными системами, видеокамерами, тактильными и ультразвуковыми устройствами для получения информации об

окружающей обстановке и о состоянии дороги. Оснащение автомобиля сенсорами для получения информации о двигателе и других устройствах автомобиля.

4. *Разработка системы ориентации автомобиля.* Эта система должна работать на основе комплексирования информации с гироскопов, системы ГЛОНАСС, электронной карты, систем распознавания наиболее заметных объектов по трассе движения и элементов искусственного интеллекта

5. *Разработка вычислительной системы автомобиля.* Информация с многочисленных датчиков должна обрабатываться с помощью многопроцессорного вычислительного комплекса повышенной надежности. Может быть использована авиационная вычислительная система последнего поколения.

6. *Моделирование робота-автомобиля при перемещении в городской среде методами технологии виртуальных миров.*

7. *Создание полигона для испытания робота-автомобиля.*

Эта разработка вдохновляется впечатляющими результатами испытания роботов-автомобилей в калифорнийском городе Викторвилль в 2007 г.

В России, где, как ни в одной другой стране мира, за последнее время резко увеличился поток автомобилей, ежегодный рост автомобильного парка составляет около 10%. Быстрое увеличение численности автомобильного парка сопровождается ростом числа пострадавших от ДТП. Если к началу XX в. во всем мире было около 6 тыс. автомобилей, то в настоящее время мировой автомобильный парк насчитывает свыше 520 млн единиц (из них примерно 75% – легковые автомобили). По данным статистики ООН, ежегодно от автомобильных аварий во всех странах погибает около 300 тыс. человек и около 10 млн получают телесные повреждения. Относительная опасность автомобиля превышает относительную опасность воздушного транспорта более чем в 3 раза, а железнодорожного – в 10 раз. На 1 млрд пассажиро-километров на автомобильном транспорте приходится 20 погибших, на воздушном – шесть, на железнодорожном – два. По сравнению со странами с развитой рыночной экономикой в России количество ДТП на 1000 ТС в 7–10 раз выше, чем в США, Японии, Германии, Франции, Финляндии и других странах. Реализация в США с 1968 г. и Японии с 1970 г. законов «О безопасности дорожного движения» и принятых на их основе национальных программ сокращения аварийности позволила значительно сократить число раненых и погибших при продолжающемся увеличении автопарка.

Проблема обеспечения безопасности движения на улицах и дорогах должна рассматриваться в рамках сложной системы дорожного движения. Термин «дорожное движение» охватывает всю сложную динамическую систему, которая образуется на дороге взаимодействием и совокупностью участников движения: пешеходами, велосипедистами, мотоциклистами, водителями автомобилей – профессионалами и любителями. Естественно, что безопасность дорожного движения зависит от обученности, дисциплинированности и правильности поведения всех участников движения, а не только представляющих автомобильный транспорт. В этом заключается одна из основных причин сложности обеспечения безопасности движения как на самом автомобильном транспорте, так и в дорожном движении в целом. Это обстоятельство можно характеризовать как недостаточную изоляцию автомобильного движения от окружающей среды. Если бы движение автомобилей повсеместно происходило по путям, где не было бы движения пешеходов, велосипедистов, тихоходных ТС, задача обеспечения безопасности намного бы упростилась.

Другим фактором, обуславливающим сложность решения проблемы обеспечения безопасности движения, является все увеличивающийся разрыв между ростом численности парка автомобилей и протяженностью улично-дорожной сети; первая опережает вторую на целый порядок, что характерно практически для всех стран. Если парк автомобилей увеличивается примерно на 10% в год, то прирост протяженности дорог не превышает 1%. Следствием этого является постоянное увеличение стесненности дорожного движения, а следовательно, резкое учащение непосредственных контактов, взаимодействия участников движения, которое во многих случаях носит характер конфликтных ситуаций, часто перерастающих в ДТП.

Если выделить из системы дорожного движения только ее транспортную часть, т. е. комплекс «водитель – автомобиль – дорога – среда», то можно отметить, что совершенствование этого комплекса в плане повышения безопасности движения также зависит не только от деятельности транспортных организаций. Так, совершенствование конструкций ТС осуществляется заводами-изготовителями и их смежниками, например, предприятиями шинной промышленности. Полностью самостоятельной областью является строительство и реконструкция дорог, улиц, дорожно-транспортных сооружений. Однако при более глубоком рассмо-

трени и здесь можно проследить связь с деятельностью автомобильного транспорта, например, почти всякое усовершенствование конструкции ТС дает конечный эффект не только в зависимости от уровня конструкторской и технологической их разработки, но также и от того, насколько грамотно эти усовершенствования использованы в эксплуатации.

Поскольку полностью избежать ДТП пока не представляется возможным, автомобиль совершенствуется в направлении снижения вероятности аварии и минимизации ее последствий. Этому способствуют ужесточения требований к безопасности автомобиля со стороны организаций, занимающихся анализом и практическими опытами. Такие мероприятия дают свои положительные «плоды». С каждым годом автомобиль становится безопасней – как для тех, кто находится внутри его, так и для пешеходов. Понятие «безопасность автомобиля» делится на две части – АКТИВНУЮ и ПАССИВНУЮ безопасность. Активная безопасность автомобиля – это совокупность конструктивных и эксплуатационных свойств автомобиля, направленных на предотвращение ДТП и исключение предпосылок их возникновения, связанных с конструктивными особенностями автомобиля. А если говорить проще, то это те системы автомобиля, которые помогают в предотвращении аварии. Пассивная безопасность автомобиля должна обеспечивать выживание и сведение к минимуму количество травм у пассажиров автомобиля, попавшего в ДТП. На рис. 3.28 приведен перечень параметров и систем автомобиля, влияющих на его безопасность.

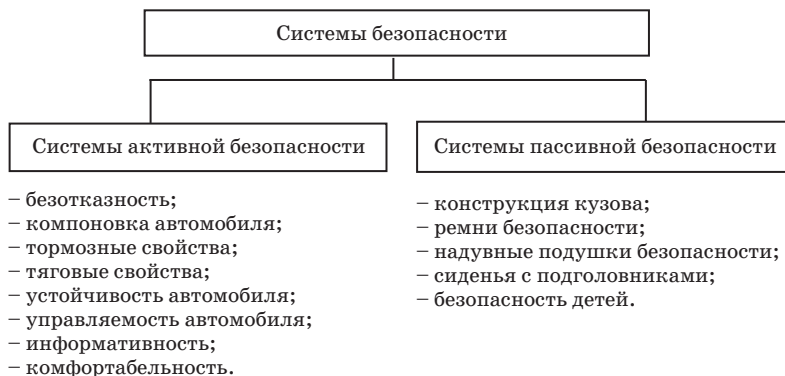


Рис. 3.28. Структура безопасности автомобиля

Для обеспечения безопасности автомобиля необходимо создать такую ситуацию, когда автомобили не попадают в аварии. В настоящее время для достижения такой ситуации активно развивается направление – «интеллектуальный» автомобиль (Intelligent Car). К реализации этого проекта привлекаются огромные ресурсы.

Интеллектуальный автомобиль.

Идея «интеллектуального автомобиля» состоит в создании такой ситуации, когда автомобили не попадают в аварии, где пробки резко сокращены, автомобили энергоэффективны и меньше загрязняют окружающую среду. Сегодня информационно-коммуникационные технологии (ICT – Information and Communications Technologies) являются отправной точкой для реализации этого проекта. Автомобиль становится умнее, помогая уменьшить проблемы автомобильного транспорта.

Интеллектуальные системы могут помочь решить многие проблемы автомобильного транспорта. Они смогут помочь водителям избежать аварии и даже вызвать аварийно-спасательные службы автоматически в случае аварии. Также они могут быть использованы в электронных системах управления движением и оптимизации работы двигателя, тем самым повышая энергоэффективность и сокращая загрязнение окружающей среды.

Примером широко и хорошо известного «интеллектуального» устройства можно привести антиблокировочную тормозную систему, которая предотвращает блокировку колес при торможении и, следовательно, помогает водителю в удержании машины под контролем. Примером для усовершенствования системы будет электронный помощник торможения. Эта система будет помогать водителю более эффективно производить торможение и даже сможет сама остановить автомобиль, если столкновение будет неизбежным и нет реакции водителя.

В данном направлении ведутся огромные работы. Европейской комиссией была создана политическая инициатива под одноименным названием в рамках объединения всех мероприятий, связанных с «интеллектуальным автомобилем». Инициатива «Интеллектуальный автомобиль» была основана Комиссией коммуникаций (Commission Communication) 15 февраля 2006 г. и представлена общественности в Брюсселе. Ее цель – повысить безопасность дорожного движения в Европейском союзе и, в частности, сократить число смертных случаев на дорогах и дорожных аварий (ежегодно более 40 и 1,2 млн аварий на дорогах Союза), сократить количество

пробок и снизить потребление топлива и выбросов CO₂. Из-за большого количества и разнообразия возможных видов деятельности и мероприятий в области «умный» автомобиль, Комиссия сообщила в своем первом обзоре «Инициатива Интеллектуальный автомобиль», что она будет уделять приоритетное внимание четырем особенно важным задачам. К ним относятся:

- введение в период с сентября 2010 г. пан-европейской автоматической системы экстренного вызова eCall;

- обязательная установка электронных систем контроля устойчивости (ESC – Electronic stability control) на всех новых автомобилях, начиная с 2014 г.;

- усиление акцента на уменьшение потребления топлива и сокращения выбросов CO₂;

- безопасные фиксация и использование в автомобиле мобильных электронных потребительских продуктов, таких как мобильные телефоны или системы навигации.

«Интеллектуальный автомобиль» относится к широкому спектру основанных на информационных технологиях (ИТ) автономных или кооперативных систем. Некоторые уже находятся в эксплуатации (ABS, ESC), другие находятся в стадии разработки или внедряются на рынок. Ниже представлен список основных технологий:

1. Anti-lock Braking System (ABS);
2. Adaptive Cruise Control (ACC);
3. Adaptive Headlights;
4. Lane Change Assistant / Blind Spot Detection;
5. Driver Drowsiness Monitoring and Warning;
6. Dynamic Traffic Management;
7. eCall;
8. Electronic Brake Assist System;
9. Electronic Stability Control (ESC);
10. Extended Environment Information;
11. Gear Shift Indicator;
12. Intersection Assistant (not yet commercially available);
13. Lane Departure Warning;
14. Local Danger Warning;
15. Night Vision;
16. Obstacle and Collision Warning;
17. Pedestrian/ Vulnerable Road User Protection (not yet commercially available);

18. Speed Alert;
19. Tyre Pressure Monitoring System (TPMS);
20. Wireless Local Danger Warning (not yet commercially available).

Ниже описаны некоторые системы, которые в большей степени способны уменьшить вероятность аварии и смертельные исходы.

Электронный контроль устойчивости (также ЭКУ, ESC (англ. Electronic Stability Control) или ESP (нем. Elektronisches Stabilitätsprogramm)) – вспомогательная система автомобиля, изобретенная в 1995 г., позволяющая предотвратить начинающийся занос или снос посредством управляемого компьютером торможения одного (или нескольких) из колес. Эксперты называют ЭКУ самым важным изобретением в сфере автомобильной безопасности после ремней безопасности. Она обеспечивает водителю лучший контроль за поведением автомобиля, следя за тем, чтобы он перемещался в том направлении, куда указывает поворот руля. По данным американского Страхового института дорожной безопасности (IIHS), примерно одна треть смертельных аварий могла бы быть предотвращена системой ЭКУ, если бы ею были оснащены все автомобили. В США требование оснащать все новые автомобили системой ЭКУ вводится с 2012 г., в Евросоюзе – с ноября 2011 г. для новых моделей автомобилей и с ноября 2014 г. для всех новых автомобилей. Аналогичные законодательные меры предпринимаются также в Канаде и Австралии. В Израиле установка ЭКУ на новые автомобили обязательна с 01.01.2010 г.

Хотя системы ЭКУ в настоящее время известны под многочисленными торговыми наименованиями, принцип их действия и технические характеристики в целом похожи. В этих системах используется принцип компьютерного контроля за работой тормозов отдельных колес, каждый помогает водителю сохранять управление ТС во время экстремальных маневров путем поддержания движения ТС в том направлении, которое задает ему водитель, даже если ТС приближается или достигает предельных показателей сцепления с дорогой.

Когда водитель пытается сделать какой-либо «экстремальный маневр» (например, во избежание столкновения или из-за неправильной оценки крутизны поворота), он может потерять управление, если ТС по мере приближения к предельным значениям сцепления с дорогой начинает реагировать иначе, чем в случае обычного вождения. Потеря управления водителем может выражаться

в том, что начинает либо «заносить» заднюю часть ТС, либо «сносить» переднюю часть. Пока сохраняется достаточное сцепление с дорогой, водитель, имеющий высокую профессиональную квалификацию, может сохранять управление в процессе самых разнообразных экстремальных маневров, используя принцип «обратного поворота рулевого колеса» (т. е. поворот рулевого колеса на мгновение в направлении, обратном направлению движения, задаваемому водителем) или с помощью других методов. Однако водители средней квалификации в состоянии паники, когда ТС начинает заносить, вряд ли смогут повернуть рулевое колесо в обратную сторону, чтобы заставить ТС слушаться руля.

Для предотвращения таких ситуаций, в которых можно сразу же потерять управление ТС, в системах ЭКУ используется принцип автоматического торможения отдельных колес в целях корректировки направления движения ТС, если оно отклоняется от того направления, которое ему задает водитель. Таким образом, эта система не дает ТС возможности изменить направление движения слишком быстро (занос) или недостаточно быстро (снос). Хотя она и не может увеличить фактическое сцепление с дорогой, ЭКУ обеспечивает водителю максимальную возможность контролировать движение ТС, а на дороге, в процессе экстренного маневра, использовать лишь естественную реакцию рулевого управления для движения в заданном направлении.

Удержание ТС на дороге предотвращает аварии одиночных автомобилей, обуславливающие в большинстве случаев опрокидывание. Однако способность системы ЭКУ эффективно воздействовать на движение транспортного средства в таких ситуациях небеспредельна. Например, если скорость просто слишком велика, то с учетом фактического сцепления с дорогой ТС, даже оснащенное ЭКУ, неизбежно съедет с дороги (но без заноса). Кроме того, ЭКУ не может предотвратить съезд с дороги по причине ослабления внимания или из-за сонливости, а не по причине потери управления. Тем не менее проведенные в разных странах мира исследования показывают, что в силу своих высоких показателей эффективности системы ЭКУ могут оказать существенное воздействие в плане спасения жизни людей, особенно в случае их широкого применения в имеющемся парке ТС. Хотя система ЭКУ не в состоянии изменить условия сцепления между шиной и дорогой, когда водитель оказывается в критической ситуации, есть все же явные причины предполагать, что она позволит сократить число ДТП, вызванных потерей управления.

Современная ESP взаимосвязана с ABS, антипробуксовочной системой и блоком управления двигателем, она активно использует их компоненты. По сути, это единая система, работающая комплексно и обеспечивающая целый набор вспомогательных контрарварийных мероприятий. Структурно ESP состоит из электронного блока-контроллера, который постоянно обрабатывает сигналы, поступающие с многочисленных датчиков: скорости вращения колес (используются стандартные датчики АБС); датчика положения рулевого колеса; датчика давления в тормозной системе.

Но основная информация поступает с двух специальных датчиков: угловой скорости относительно вертикальной оси и поперечного ускорения (иногда это устройство называют G-сенсор). Именно они фиксируют возникновение бокового скольжения на вертикальной оси, определяют его величину и дают дальнейшие распоряжения. В каждый момент ESP знает, с какой скоростью едет автомобиль, на какой угол повернут руль, какие обороты у двигателя, есть ли занос и т. д. Обработывая сигналы с датчиков, контроллер постоянно сравнивает фактическое поведение автомобиля с тем, что заложено в программе. В случае если поведение автомобиля отличается от расчетного, контроллер понимает это как возникновение опасной ситуации и стремится исправить ее. Вернуть автомобиль на нужный курс система может, давая команду на выборочное подтормаживание одного или нескольких колес. Какое из них надо замедлить (переднее колесо или заднее, внешнее по отношению к повороту или внутреннее), система определяет сама в зависимости от ситуации.

Притормаживание колес система осуществляет через гидромодулятор АБС, создающий давление в тормозной системе. Одновременно (или до этого) на блок управления двигателем поступает команда на сокращение подачи топлива и уменьшение, соответственно, крутящего момента на колесах.

Система работает всегда, в любых режимах движения: при разгоне, торможении, движении накатом. А алгоритм срабатывания системы зависит от каждой конкретной ситуации и типа привода автомобиля. Например, в повороте датчик углового ускорения фиксирует начало заноса задней оси. В этом случае на блок управления двигателем подается команда на уменьшение подачи топлива. Если этого оказалось недостаточно, посредством АБС притормаживается внешнее переднее колесо. И так далее, в соответствии с программой.

Кроме того, в автомобилях, оборудованных автоматической КПП с электронным управлением, ESP способна даже корректировать работу трансмиссии, т. е. переключаться на более низкую передачу или на «зимний» режим, если он предусмотрен.

ESP является одной из важнейших частей комплекса активной безопасности автомобиля. Она исправляет ошибки в управлении и часто помогает выйти из ситуаций, в которых среднестатистический водитель на обычном автомобиле потерпел бы полное фиаско. Главное достоинство ESP – с ней автомобиль перестает требовать от вас навыков экстремального вождения. Вы просто поворачиваете руль, а машина сама будет думать, как вписаться в поворот.

Но нужно иметь в виду – возможности ESP по исправлению опасной ситуации не беспредельны. Ведь законы физики обмануть нельзя. Поэтому надо помнить, что ESP хоть и значительно снижает шансы на попадание в аварию во многих сложных ситуациях, но не избавляет водителя от необходимости иметь голову на плечах.

Одно из исследований, проведенных в 2004 г. в США, показало, что ЭКУ могут оказать позитивное воздействие на способность обычных водителей справляться с управлением в критических ситуациях. В ходе этого исследования выборка из 120 водителей, включающая равное число мужчин и женщин, а также равное число представителей трех возрастных групп (18–25, 30–40 и 55–65 лет), подвергалась проверке в условиях трех нижеизложенных критических дорожных сценариев. «Сценарий вторжения» заключался в том, что водитель должен был попытаться произвести маневр с двойным переходом с одной полосы движения на другую на высокой скорости (дорожный знак ограничения скорости – 65 миль/ч) сначала в результате неожиданного появления на полосе ТС, выехавшего с боковой дороги, а затем другого ТС, которое находилось перед ними в левой полосе движения. «Сценарий съезда на обочину» предусматривал, что водители должны были ехать по кривой на обычном повороте с постоянным радиусом со скоростью 65 миль/ч (105 км/ч), указанной на дорожном знаке, с последующим выездом на другой поворот, который казался таким же, но радиус которого на самом деле уменьшался, что при въезде было незаметно.

«Сценарий с порывом ветра» предусматривал, что водители внезапно в течение короткого времени подвергались воздействию бокового порыва ветра, который толкал их в сторону встречной полосы движения. Затем эти 120 водителей были распределены на две равные группы по двум ТС: АСХ и автомобиль средних размеров с

кузовом типа «седан». Половина водителей на каждом ТС вели машины с включенной и половина – с выключенной системой ЭКУ.

В 50 из 179 пробных прогонов, произведенных на ТС без ЭКУ, водитель не справлялся с управлением. И напротив, из 179 прогонов, произведенных на ТС с ЭКУ, водители не справились с управлением только в шести случаях. Один пробный прогон в каждом режиме работы ЭКУ пришлось прерывать. Эти результаты показывают, что в случае включения ЭКУ число аварий, вызванных тем, что водитель не справился с управлением, снизилось на 88%. Это исследование также позволило сделать вывод о том, что наличие системы ЭКУ позволяет снизить вероятность потери управления независимо от возраста или пола водителя и что польза от его применения различными подгруппами водителей, участвовавших в исследовании, была по существу одинаковой.

В начале 2003 г. был проведен ряд исследований по анализу эффективности ЭКУ в Европе и Японии. Все они показали, что использование ЭКУ обладает существенным потенциалом снижения аварий одиночных автомобилей. Кроме того, предварительное исследование данных о ДТП за 1997–2003 гг., проведенное в США и опубликованное в сентябре 2004 г., подтвердило эффективность ЭКУ в деле снижения аварий одиночных ТС, включая опрокидывание. Полученные результаты исследования на ТС, которые были использованы в этих целях, показали, что ЭКУ позволяет снизить количество аварий одиночных легковых автомобилей на 35%, а АСХ – на 67%.

Одно из исследований по оценке эффективности ЭКУ, которое было проведено позже и подверглось экспертной оценке, обнаружило, что ЭКУ позволил снизить аварии одиночных легковых автомобилей на 34%, а АСХ на 59% и что оно оказалось наиболее эффективным в снижении числа аварий одиночных ТС с опрокидыванием (снижение на 71% в случае легковых автомобилей и 84% в случае АСХ). Оно также обнаружило снижение числа аварий одиночных ТС со смертельным исходом и одиночных аварий с опрокидыванием (также со смертельным исходом), которое было соизмеримо с общим снижением показателя аварийности, указанного выше.

Система экстренного вызова. Когда происходит ДТП, быстрота, с которой будут мобилизованы спасательные службы, имеет исключительно важное значение для спасения жизней и уменьшения последствий травм. В случае возникновения чрезвычайной ситуации или даже аварии «Система экстренного вызова» может значи-

тельно сократить время реагирования экстренных служб. Такая система уже создана в Европейском союзе, известная под названием eCall, далее будет описана данная система (рис. 3.29).

eCall может быть активирована вручную пассажирами ТС или автоматически через активацию датчиков ТС в случае аварии. В автомобиле eCall непосредственно устанавливает 112-голосовой аппарат связи с опросной службой (PSAP – Public Service Answering Point) и посылает важную информацию, такую как время и место аварии, а также описание ТС. Все новые автомобили в конечном счете должны быть оснащены системой eCall, начиная с 2010 г.

После аварии водитель и пассажиры в ТС могут быть в шоке, не знать своего местоположения, не иметь возможности общаться между собой и использовать мобильный телефон.

Во всех этих случаях, где бы они не произошли на территории Европы, eCall может значительно сократить время реагирования на чрезвычайные ситуации, сохранить жизнь и снизить тяжесть травм. После полного внедрения в Европе социально-экономические выгоды от eCall будут огромны. eCall является пан-европейским сервисом, который будет работать во всех европейских государствах-членах и государствах связанных с этой инициативой. Она будет доступна на всех ТС, независимо от марки, страны и фактического местонахождения ТС. eCall – это единственный сервис, обеспечивающий общеевропейский охват. eCall будет работать в отпуске и во время деловой поездки, а также дома. Когда происходит серьезная авария, датчики в автомобиле будут автоматически инициировать eCall. При ее включении в автомобиле система устанавливает 112-го-

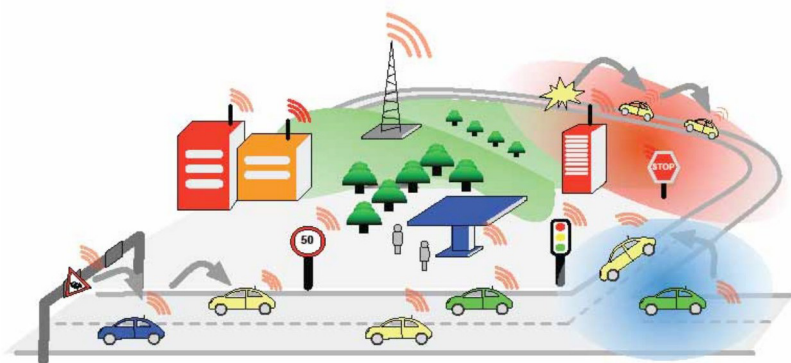


Рис. 3.29. Система eCALL – простая архитектура

лосовой аппарат связи для передачи аварийных сообщений, минимальный набор данных (MSD), включая ключевую информацию об аварии, такие как время, местоположение, направление движения (в результате точных спутниковых данных, таких как EGNOS11, а с 2013 г. – Galileo12), и описание автомобиля отправляется с голосовым вызовом. eCall также можно активировать вручную.

Оператор мобильной связи (MNO) определяет, что 112-й вызов eCall поступил от установленного в ТС коммуникационного модуля. Оператор мобильной связи вызывает наиболее подходящий центр реагирования на чрезвычайные ситуации. Центр будет получать как голосовые звонки, так и MSD.

Информация, предоставленная MSD, будет расшифровываться и отображаться на экране оператора PSAP. Местоположение и направление движения ТС может быть показан в географической информационной системе. В то же время оператор сможет слышать, что происходит в автомобиле и поговорить с пассажирами ТС, если это возможно. Это поможет выяснить, какая аварийно-спасательная службе, необходима на месте ДТП (скорая помощь, пожарные, полицейские), а также оперативно направить предупреждения и всю соответствующую информацию службам. Кроме того, операторы PSAP смогут немедленно сообщить центрам управления движением, что инцидент произошел в определенном месте, способствуя быстрому информированию других участников дорожного движения, и тем самым поможет предотвратить средние аварии, очистить проезжую часть и, следовательно, снизить перегруженность дороги.

Сеть между автомобилями.

Идея создания сети между автомобилями возникла давно, многие автопроизводители и организации занимались этими вопросами в одиночку. В настоящее время крупнейшие производители автомобильной промышленности и организации, связанные с дорожным движением, объединились и прилагают совместные усилия для разработки новых автомобильных систем, в первую очередь систем, обеспечивающих безопасность, управление движением и уменьшение выбросов CO₂. В связи с развитием коммутационных технологий одним из перспективных направлений в исследованиях является создание сети между автомобилями и дорожной инфраструктурой. В рамках этой идеи был создан консорциум Car 2 Car Consortium.

Цель консорциума состоит в создании и стандартизации интерфейсов и протоколов беспроводной связи между ТС и их окруже-

нием, с тем чтобы ТС различных производителей имели совместимость, а также могли общаться между собой и дорожной инфраструктурой. Миссии и цели консорциума Car 2 Car communication:

1) создать и установить открытый европейский (возможно, и мировой) промышленный стандарт Car 2 Car систем связи;

2) гарантировать работоспособность системы связи между ТС;

3) разработать прототипы активных приложений безопасности, демонстрирующих работоспособность систем Car 2 Car;

4) содействовать в согласовании Car 2 Car коммуникационных стандартов по всему миру для разработки стратегий развертывания бизнес-моделей и ускорения проникновения на рынок;

Система Car 2 Car должна обеспечивать следующие функции:

1) быструю автоматическую передачу данных между ТС и дорожной инфраструктурой;

2) передачу информации о движении, предупреждение опасностей и предоставление развлекательных данных;

3) поддержку специальной Car 2 Car связи, не требующей предварительной установки сетевой инфраструктуры.

Car 2 Car система основана на беспроводных сетевых технологиях малого радиуса действия.

Специальная Car 2 Car связь позволяет обмениваться ТС друг с другом информацией. Так формируется автотранспортная сеть VANE (Vehicular Adhoc Network). Car 2 Car система расширяет горизонты возможностей водителя и дает совершенно новые нормы обеспечения безопасности. Связь Car 2 Car хорошо подходит в качестве основы для приложений децентрализованных систем активной безопасности и, следовательно, способствует снижению происшествий и их тяжести. Помимо активных функций безопасности, система включает в себя активные приложения для управления движением и будет способствовать улучшению дорожного движения.

C2X коммуникации позволяют предоставлять большое количество информации о безопасности или эффективности движения водителям. C2C-CC C2X система была и будет продолжать развиваться на основе требований использования. В коммуникациях участвуют следующие субъекты:

1) водители, которые пользуются системой, получая предупреждения и рекомендации маршрута;

2) дорожные службы, которые получают данные о движении и, следовательно, могут осуществлять контроль движения более эффективным способом;

3) провайдеры и точки доступа к Интернет-услугам, например на АЗС.

Использовать систему Car 2 Car для обеспечения безопасности можно в различных сценариях. Рассмотрим три случая использования системы для обеспечения безопасности.

Первая система, которую рассмотрим, – это **система предупреждения об опасности столкновения**. Типичными причинами наезда сзади является отвлечение водителя или резкое торможение впереди следующего ТС. Во всем мире процент среди всех аварий, связанных с наездом сзади, очень велик. Система, предупреждающая об опасности такой аварии смогла бы избежать их. С помощью системы Car 2 Car возможно создать такую систему. Такая система будет во время нормального вождения анонимно обмениваться соответствующей информацией с оборудованными ТС, такой как местоположение, скорость и направление движения. Для того чтобы предсказать неминуемый наезд сзади, каждое ТС следит за действиями своих водителей, положением автомобиля и поведением всех других автомобилей поблизости. Когда система обнаруживает в критической близости ТС, происходит предупреждение водителя. Таким образом, водитель будет иметь достаточное количество времени для избежания аварии. В дополнение к беспроводной связи для обнаружения ТС, не оборудованных системой Car 2 Car, могут быть использованы различные датчики. Для предупреждения опасности столкновения требуется:

- 1) возможность для всех ТС обмениваться информацией друг с другом на расстоянии приблизительно от 20 до 200 м с целью прогнозировать наезд сзади;
- 2) точное взаимное расположение ТС;
- 3) правдивость информации, полученной от других ТС;
- 4) проникновение на рынок системы, с тем чтобы иметь эффективность.

Система обнаружения и предупреждения аварии – система следующего шага после системы предупреждения аварии сзади. Здесь предполагается, что авария неизбежна и будет происходить предупреждение об опасности, аналогично рассмотренной выше системы. Эта система требует от всех ТС периодического обмена информацией, чтобы предсказать столкновение. После того как уже не избежать аварии, вовлеченные ТС должны быстро и надежно обмениваться информацией, что накладывает требования к связи. В этой передаче происходит передача наиболее полных и подроб-

ных сведений об автомобилях, например таких, как положение и размер. Это дополнительная информация, предоставленная обоими ТС, позволяет оптимизировать такие системы обеспечения безопасности, как подушки безопасности, системы предварительного натяжения ремня безопасности, расширения бамперов и т. д. Как и в требованиях, предъявляемых к рассмотренной ранее системе предупреждения столкновения сзади, эта система требует:

1) возможности для всех ТС обмениваться информацией друг с другом на расстоянии приблизительно от 20 до 100 м, с тем чтобы прогнозировать неизбежные аварии;

2) точного взаимного расположения ТС;

3) достоверности получаемых данных от других ТС;

4) проникновения на рынок, чтобы иметь эффективность;

5) быстрого и надежного соединения между двумя ТС в случае неизбежности аварии.

Система обмена уведомлениями об опасных областях – система использует связь между автомобилями для информирования об опасных местах на дороге, как, например, скользкая дорога или выбоина. Таким образом, основным вопросом является генерация информации о состоянии дорожной обстановки на конкретном месте. Например, на ТС сработала ESP, информация об этом и месте, где это произошло, сохраняется и передается другим ТС в окрестности. Транспортные средства, которые получают эту информацию, предоставляют информацию на рассмотрение водителя или используют ее для оптимизации шасси и систем безопасности. Соответствующая информация может быть доведена до любого количества ТС на площади, ограниченной только плотностью потока ТС, оборудованных системой Car 2 Car. В дополнение к описанному случаю, когда информация создается в автомобиле, она может поступать от внешних поставщиков дорожной инфраструктуры, доступных через сеть, в том же порядке. Как описано выше, система обмена уведомлениями об опасных ситуациях требует:

1) достоверности получаемой информации от других ТС;

2) достоверности получаемой информации от других поставщиков дорожной инфраструктуры;

3) проникновения на рынок для эффективной работы;

4) возможности обмениваться информацией об определенной географической области в нескольких прыжках;

5) способности оценивать и отслеживать достоверность информации, распространяемой через несколько прыжков.

Контрольные вопросы

1. Какие автоматы были построены и использовались в Древнем мире и в средневековье?
2. Какие компьютерные технологии использованы в американском фильме «Аватар»?
3. Как представлял роботов Карел Чапек?
4. Каковы основные законы робототехники по А. Азимову?
5. Каково место роботов в современной жизни?
6. Каков основной сюжет советского фильма «Человек и робот»?
7. Каково соотношение организации среды и сложности робота для конкретного примера?
8. Как использовать роботов на лесозаготовках?
9. Как использовать роботов на машиностроительном предприятии?
10. Как использовать роботов для помощи больным?
11. Как использовать роботов в домашнем хозяйстве?
12. Как использовать роботов на животноводческой ферме?
13. Как использовать роботов для охраны порядка?
14. Как устроена рука человека?
15. Как устроена нога человека?
16. Каковы характеристики зрительного анализатора человека?
17. Каковы характеристики слухового анализатора человека?
18. Каковы приспособительные характеристики человека?
19. Как должен быть экипирован кибернетический боец?
20. Какова система управления беспилотного ЛА?
21. Каковы механические конструкции роботов?
22. Как должен перемещаться робот внутри трубы?
23. Как может помочь робот при диагностике газопроводов?
24. Каковы информационные системы роботов?
25. Как устроен «мозг» роботов?
26. Каковы системы связи человека с роботом?
27. Каковы уровни управления роботами?
28. Каков уровень самостоятельности робота?
29. Как осуществляется энергоснабжение роботов?
30. Каковы особенности биологических мышц?
31. Как можно использовать нанороботы?
32. Каковы адаптационные возможности робота?
33. Как организовать коллективную работу роботов?

ГЛАВА 4. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Люди всегда думали о том, как облегчить свой труд, и создавали различные механизмы и машины, которые прошли длинный путь развития от простейших рычагов до нанотехники. В своих мифах и мечтах люди создали образ помощника, который в XX в. принял образ робота. В настоящее время миллионы роботов трудятся на различных рабочих местах – от сборки автомобилей до исследования космоса. Основные составные части робота – это, во-первых, движители, с помощью которых осуществляется перемещение робота или его частей; во-вторых, сенсоры, с помощью которых робот получает информацию из окружающей среды; в-третьих, решающие устройства, которые обрабатывают сенсорную информацию, сопоставляют ее с целевой установкой и вырабатывают управляющие сигналы на движители, чтобы достичь тех или иных целей. Все эти системы имеют аналоги в живых системах. Применительно к человеку движители – это мышцы и кости скелета, сенсоры – это кожа, зрение, слух, обоняние и вкус, решающая система – это нервная система человека и мозг. В настоящее время люди только начинают разбираться в устройстве биологических систем, еще очень велик разрыв между возможностями биологических систем и техникой, созданной руками человека. Сформировалось научное направление – бионика, в рамках которого ученые изучают биологические структуры и пытаются технически реализовать выявленные принципы. Развитие нанотехники позволит сократить этот разрыв.

В процессе развития движители прошли путь от простых рычагов, полипастов, через использование мышечной силы животных, через создание различных гидравлических и пневматических систем, через создание различных электроприводов до нанодвижителей, и эта эволюция заняла тысячи лет.

В процессе развития сенсорные системы прошли путь от химических структур, чувствительных ко вкусу и запаху, через развитие тактильных датчиков, через развитие различных слуховых и зрительных анализаторов до наносенсоров. Наибольшее внимание далее уделяется развитию информационно-вычислительных систем, потому что этот путь у нас перед глазами, он был пройден за каких-то 50 лет благодаря усилиям ученых и инженеров различных специальностей.

Вычислительные машины – это системы со структурированной неопределенностью, она может иметь разное физическое воплоще-

ние. Имеются примеры реализации вычислительных устройств на пневматических и гидравлических элементах, на аналоговых и цифровых структурах. Недостигаемым для современной техники является устройство и функционирование нервной системы живых существ, слишком плохо мировая наука изучила физико-химические и информационные процессы в биологических структурах, слишком велик технологический разрыв между электроникой и биологическими процессами. Так называемый нейрокомпьютинг – это не более, чем внешняя имитация сложных процессов в нейронных структурах. Наибольшее распространение в настоящее время получили микроэлектронные системы – от мобильных телефонов до суперкомпьютеров, сложилось представление о поколениях вычислительной и телекоммуникационной техники. Эволюция вычислительной техники (ВТ) весьма поучительна для понимания логики развития информационных систем. В июле 2006 г. в Петрозаводске проходила международная конференция по истории вычислительной техники в России и в странах бывшего СССР (SoRuCom-2006), на которой было заявлено, что безвозвратно утрачены или уничтожены многие образцы ВТ и их документация, которые составляли научное и культурное наследие России. В настоящей работе восстанавливаются некоторые аспекты истории развития ВТ.

4.1. Эволюция архитектуры вычислительных систем

4.1.1. Эволюция элементной базы

Во время Второй мировой войны развивалась радиосвязь и радиолокация, что привело к развитию производства электронных ламп и в конце 40-х гг. XX в. сразу в нескольких странах – США, СССР, Великобритании и др. – были построены электронные вычислительные машины, где в качестве основных элементов использовались электронные лампы. Они составили первое поколение компьютеров и использовались прежде всего для научно-технических расчетов и обороны. В табл. 4.1 представлена эволюция элементной базы. В 50-е гг. появились полупроводниковые элементы, которые позже были объединены в интегральные схемы. Первый коммерчески доступный микропроцессор появился в 1971 г. Это был

Таблица 4.1

К Р Е М Н И Й	Эволюция элементной базы	Факт				Прогноз	
	Наноструктуры на основе углерода						+
}	Сверхбольшие интегральные схемы					+	
	Большие интегральные схемы				+		
	Интегральные схемы			+			
	Полупроводниковые элементы		+				
	Электронные лампы	+					

4-разрядный микропроцессор 14004 фирмы Intel, содержащий на кристалле 2300 транзисторов и работающий с тактовой частотой 0,4 МГц с производительностью 60 тыс. оп/с. В то время использовалась 10-микронная технология изготовления микросхем. В 1984 г. появился 32-разрядный микропроцессор 18386 фирмы Intel, который содержал 275 тыс. транзисторов, работал на частоте 16 МГц с быстродействием до 5,5 млн оп/с. В таких микропроцессорах использовалась технология, позволяющая доводить расстояние между элементами на микросхеме до 1 мкр. К концу 1998 г. наиболее производительные микропроцессоры Pentium II фирмы Intel работали с частотой 450 МГц, содержали около 7,5 млн транзисторов на микросхеме, они изготовлялись по технологии 0,25 мкр. Успехи в физико-химической очистке кристаллов кремния позволили освоить еще более высокие параметры. За последние годы удвоение тактовой частоты и числа транзисторов на кристалле происходило примерно за 2–3 года. Этот показатель называют законом Мура (мистер Мур – бывший президент компании Intel). Дальнейшее увеличение количества элементов на кристалле выявило технологические ограничения – механические и прочностные ограничения на количество выводов из кристалла, встала задача сокращения потока информации из кристалла и в кристалл, что оказалось возможным осуществить только на основе построения самоорганизующихся БИС, когда многие функции реализовывались в рамках только самого кристалла. Этими функциями стали контроль, диагностика и коррекция вычислительных процессов внутри кристалла за счет разумно введенной избыточности и возможности диагностировать неисправные элементы и исключать их из вычислительного процесса без критического уменьшения быстродействия.

Разрабатываются объемные интегральные схемы, в которых транзисторы размещаются на параллельных слоях, что облегча-

ет коммуникацию между слоями. В пределе размеры решающих элементов приблизятся к размерам молекул и атомов, но там уже действуют законы квантовой механики, которые учитываются в нанотехнологиях. В последние годы ведется интенсивная разработка квантовых вычислительных машин, которые позволили бы резко повысить их быстродействие и защиту с помощью квантовой криптографии, но самым интересным в этих разработках является возможность реализации особых квантовых явлений, таких как телепортация.

Идеи исчезновения предметов и людей в одном месте и их загадочного появления в другом месте с проникновением сквозь толстые стены существуют уже тысячи лет. Термин «телепортация» был введен Фортом в 1931 г. По мнению Форты, ничто не является непроницаемым – окружающая нас действительность является всего лишь сумеречной зоной между различными уровнями реальности и нереальности. Телепортация есть средство, с помощью которого содержимое одного уровня существования, обычно скрытого от нас, может внезапно попасть, казалось бы, ниоткуда на наш собственный уровень. Научная современная телепортация не использует поток вещества или энергии. Основой телепортации является передача информации, но без ее пересылки сквозь пространство. Эта передача осуществляется с помощью самого загадочного явления в современной науке – запутывания (entanglement). В 1997 г. в небольшой темной комнате университета в Инсбруке (Австрия) на лабораторном столе с кабелями и электронно-оптическими преобразователями ученые уничтожили несколько мельчайших частиц света в одном месте и абсолютно точно восстановили их в другом месте на расстоянии около одного метра. Таков был первый в истории человечества научный эксперимент по телепортации.

Интересное направление в развитии элементной базы – квантовый компьютер – гипотетическое вычислительное устройство, которое путем выполнения квантовых алгоритмов существенно использует при работе квантовомеханические эффекты, такие как квантовый параллелизм и квантовая запутанность. Содержание понятия «квантовый параллелизм» может быть раскрыто так. Данные в процессе вычислений представляют собой квантовую информацию, которая по окончании процесса преобразуется в классическую путем измерения конечного состояния квантового регистра. Выигрыш в квантовых алгоритмах достигается за счет того, что при применении одной квантовой операции большое число коэффици-

ентов суперпозиции квантовых состояний, которые в виртуальной форме содержат классическую информацию, преобразуется одновременно. Под квантовой запутанностью, которую называют также «квантовой суперпозицией», обычно понимается следующее. Вообразите атом, который мог бы подвергнуться радиоактивному распаду в определенный промежуток времени. Или не мог бы. Мы можем ожидать, что у этого атома есть только два возможных состояния: «распад» и «не распад», но в квантовой механике у атома может быть некое объединенное состояние – «распада – не распада», т. е. ни то, ни другое, а как бы между. Вот это состояние и называется «суперпозицией». Базовые характеристики квантовых компьютеров в теории позволяют им преодолеть некоторые ограничения, возникающие при работе классических компьютеров. Квантовый компьютер – это разновидность цифрового аналога, цифровое устройство аналоговой природы. Цифровые аналоги активно разрабатывались в 60-е гг. в Институте электромеханики АН СССР [38].

4.1.2. Эволюция уровня знаний

За последние 50 лет мы могли наблюдать непрерывное повышение уровня интеллекта ЭВМ (табл. 4.2), которое проявляется в том, что все более сложные процедуры, постановки и решения интеллектуальных задач передаются от человека машине. Этапы качественного изменения в разделении труда между человеком и ЭВМ совпадают по времени с объявлением новых поколений ЭВМ.

Таблица 4.2

Эволюция уровня знаний	Факт				Прогноз	
Метазнания						+
Всеобщие знания					+	+
Проблемные знания				+	+	+
Системные знания			+	+	+	+
Интерфейсные знания		+	+	+	+	+
Процедурные знания	+	+	+	+	+	+

В качестве второго принципа эволюции рассматривается постоянное возрастание уровня знаний в ЭВМ. Машины 1-го поколения обладали процедурными знаниями, располагали стандартными программами, например для решения большого числа линейных

алгебраических уравнений. Машины 2-го поколения обладали интерфейсными знаниями, располагали трансляторами. Машины 3-го поколения обладали уже и системными знаниями, различными управляющими программами, из которых выросли операционные системы.

В качестве третьего принципа рассматривается эволюционное развитие архитектуры ЭВМ, интегрирование достижений предыдущих этапов развития – переемственность и совместимость, что и обеспечило быстрый прогресс компьютерных технологий.

В качестве четвертого принципа рассматривается повышение уровня операционной среды в ЭВМ, что проявляется в развитии механизмов виртуализации программных и аппаратных средств, введении средств автоматизации контроля и восстановления процессов, автоматизации планирования и распределения ресурсов и др.

В качестве пятого принципа рассматривается реализация знаний детерминированной аппаратной логикой. На первых этапах развития ВТ, аппаратное обеспечение было дороже программного, в настоящее время – наоборот, ПО дороже аппаратного, и поэтому представляется целесообразным реализация максимального числа функций аппаратным образом.

В качестве шестого принципа рассматривается специализация средств обработки информации и управления. В принципе цифровые машины универсальны, но затраты памяти и времени для решения различных задач разные. При специализации ВТ на решение конкретных задач стоимость и качество решения отличаются в десятки раз, и поэтому предпочитают проблемно ориентировать вычислительную технику для использования в конкретных областях – в финансовой сфере, в сфере управления самолетами и т. д. Высший уровень знаний – это метазнания, знания о знаниях, он реализуется в виде поисковых систем типа GOOGLE.

Знания – это определенным образом формализованная и структурированная информация, доступная пониманию человеком и пригодная для использования в повседневной или перспективной деятельности. Знания можно классифицировать по степени востребованности в человеческом обществе: во-первых, это бытовые знания, постоянно используемые в повседневной жизни каждого человека, во-вторых, прикладные, необходимые для осуществления текущей трудовой деятельности, в-третьих, поисковые, предполагаемые к применению в перспективной трудовой деятельности, в-четвертых, фундаментальные, раскрывающие объективные

законы природы и основы мироздания, в-пятых, космические, которые могут включать трансцендентные знания, в принципе недоступные ощущениям и пониманию человеком и опытному познанию в мире.

4.1.3. Эволюция операционной среды

Под интеллектуальной понимается естественная, искусственная или формальная система, обладающая способностью целесообразного поведения в изменяющейся среде – выбора и принятия решений, обучения и адаптации, целеполагания и устойчивости. Под знаниями интеллектуальной системы понимается ее атрибутивная информация. Моделью интеллектуальной системы является операционная среда. Под архитектурой ЭВМ понимается спецификация операционной среды через определение в терминах пользователя ее состава, свойств, функций и правил взаимодействия. В табл. 4.3 представлена эволюция операционной среды.

Таблица 4.3

Эволюция операционной среды	Факт				Прогноз	
Искусственный «разум»						+
Интеллектуальная машина					+	+
Объектная машина				+	+	
Виртуальная машина			+	+		
Реальная машина		+	+			
Физическая машина	+	+				

4.1.4. Эволюция интерфейса общения

Информационно-вычислительные системы – это полилингвистические системы, где сразу действуют несколько языков. В табл. 4.4 представлена эволюция интерфейса общения. За последние 50 лет в сфере ВТ и программирования были разработаны свыше 1000 различных алгоритмических языков, многие сейчас уже не используются, в число действующих входят около 100 языков. Естественный язык до сих пор представляет большие трудности для освоения компьютером, о чем, в частности, свидетельствует

Таблица 4.4

Определяющие свойства интерфейса общения	Факт				Прогноз	
Естественные языки						+
Прикладные языки					+	+
Логические языки				+	+	+
Функциональные языки			+	+	+	
Процедурные языки		+	+	+		
Машинные языки	+	+	+			

несовершенство машинных программ перевода с одного естественного языка на другой. В настоящее время на нашей планете около 6 тыс. естественных языков, в результате процессов глобализации прогнозируется их сокращение до 600, что существенно обеднит цивилизацию Земли.

4.1.5. Эволюция устройств ввода-вывода информации

Удельный вес устройств ввода-вывода информации в стоимости вычислительных систем (ВС) непрерывно повышается, прогресс в этой области значительно сложнее, так как непосредственно связан с характеристиками человека как конечного пользователя. В табл. 4.5 представлена эволюция устройств ввода-вывода.

Таблица 4.5

Определяющие свойства устройств ввода-вывода	Факт				Прогноз	
Виртуальные костюмы						+
Динамические объекты					+	+
Запах и вкус				+	+	+
Речевой ввод			+	+	+	+
Дисплеи цифровые		+	+	+	+	+
Кнопочные панели	+	+	+	+	+	+

Кнопочные панели были и являются самыми распространенными устройствами ввода информации, их размеры определяются размерами человеческих пальцев и удобством пользования. Цифровые дисплеи для вывода визуальной информации развиваются быстро, растет число пикселей, палитра цветов. Созданы плазменные и жидко-кристаллические дисплеи. Развиваются системы ре-

чевого вывода информации из компьютера с помощью различных синтезаторов речи. Значительно труднее решаются задачи речевого ввода информации от человека в компьютер, который не обладает таким мощным слуховым анализатором как у человека. Уже продаются системы генерации запахов и вкуса. Возникли специальные динамические системы типа кибернетического велосипеда, когда человек становится органичной частью системы виртуальной реальности. Создаются виртуальные костюмы для полного погружения человека в виртуальные миры. Разрабатываются системы информационного зазеркалья, генерирующие всю матрицу окружающей среды.

4.1.6. Эволюция средств связи

Параллельно с развитием средств обработки информации развивались системы передачи информации. В рамках эволюции живых систем самым главным является передача наследственной информации от родителей к потомкам. В процессе эволюции живые системы оснащались различными сенсорными системами – тактильными, вкусовыми, анализаторами запахов, зрительных и слуховых образов. Потом возникли системы устной и письменной речи, получила распространение система почты. В середине XIX в. возник электрический телеграф, потом радио, телефон, телевидение. Вычислительные машины в начальный период своего развития не были объединены в сети. Системы передачи информации (передачи в пространстве), хранения информации (передачи во времени) и вычислительные машины развивались как бы отдельно. Но с 70-х гг. XX в. происходит их объединение, возникли вычислительные сети, первой из которых была ARPANET, и сетевые технологии получили большое развитие, сложилась всемирная паутина, и в настоящее время осуществляется интеграция всех средств передачи информации по формуле

Networking = data + voice + image.

Происходит сращивание всех средств связи и передачи информации, в итоге каждый человек получил мобильный телефон и получит в свое распоряжение мощный коммуникатор и быстрый доступ ко всем накопленным знаниям, складывается гибридный человекомашинный интеллект.

Россия – гигантская по территории страна, и ее социально-экономическое развитие во многом определяется информатизацией на основе новых технологий. В соответствии с правительственными решениями, каждый населенный пункт с населением свыше 500 чел. должен иметь выход в Интернет. Для осуществления этой большой задачи необходимо решить следующие проблемы.

1. Определить поэтапно спектр предоставляемых услуг с перспективой их развития. Единая сеть должна объединять все органы управления, почты, организации здравоохранения, образования и культуры и предоставлять населению многообразие услуг. В перспективе каждый житель России от ребенка до пенсионера должен иметь своего помощника в виртуальных мирах.

2. Ввиду неразвитости инфраструктуры связи возникает проблема создания такой инфраструктуры, которая сначала могла бы объединить все районные центры России с использованием всех проводных и беспроводных средств связи, оптоволоконных линий и систем с привязными аэростатами.

3. Необходимо разработать трехслойный Интернет, где первый слой – системы проводной связи, наземные системы, второй слой – системы на основе привязных аэростатов и свободно летающих дирижаблей, третий слой – это системы на основе использования спутников. Трехслойный Интернет имеет повышенную надежность, мобильность и высокую пропускную способность.

4. Возникает проблема концентрации финансовых ресурсов для решения этой задачи, с привлечением как местных и федеральных ресурсов, так и ресурсов частных фирм.

5. Решение проблемы информатизации регионов России – задача комплексного системного анализа территорий и ресурсов. В качестве примеров рассматриваются задачи информатизации Ленинградской области и Санкт-Петербурга.

Помимо традиционных направлений работ коммуникационной отрасли одной из задач при построении национальных систем связи является создание транспортной среды, позволяющей осуществлять передачу первичных и тематически обработанных данных в реальном масштабе времени к различным центрам генерации и анализа комплексной информации и принятия решений.

Специалистами группы компаний «Евразия Телеком» совместно с ведущими научными специалистами был проведен цикл исследований, имевших целью выработку рекомендаций по оптимизации структуры широкополосной транспортной сети при использовании

ее в качестве коммуникационной основы для различных распределенных систем национального масштаба [62].

Технологической базой проведения исследований стала развернутая в Москве, Московской области и Санкт-Петербурге широкополосная сеть передачи данных компании «Евразия Телеком» (рис. 4.1), построенная по технологии Metro Ethernet. Организация «длинной линии» на трассе Москва – Петербург была выполнена с помощью технологии CWDM.

В целях организации прикладного тестирования к сети компании «Евразия Телеком» осуществлялось присоединение стационарных и передвижных пунктов сбора радиолокационной информации, а также центров обработки и принятия решений, расположенных в лабораториях Арктического и антарктического НИИ. Дополнительно исследовалась возможность работы удаленных потребителей с использованием традиционных для рынка SOHO технологий доступа в Интернет: dial-up и ADSL.

Исследования проводились в следующих основных направлениях:

1) оценка возможности использования существующей сети в качестве опорной для систем мониторинга критически важных объектов, в частности, объектов ядерной энергетики. Для этого направления наибольшую значимость имела минимизация рисков отказа отдельных компонентов коммуникационной среды и обеспечение минимальной задержки в передаче информации;

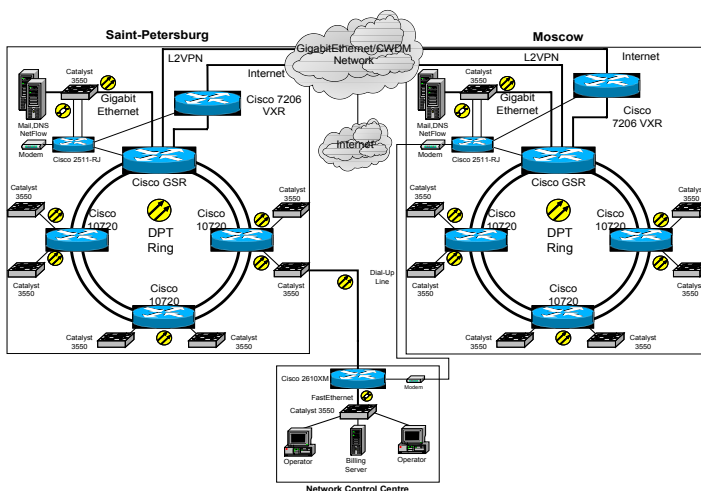


Рис. 4.1. Схема сети передачи данных

2) обеспечение максимальной унификации присоединения заинтересованных потребителей с тем, чтобы обеспечить бесперебойную «поточность» присоединения даже для случаев оперативного развертывания передвижных пунктов сбора и обработки радиолокационной информации (например, при возникновении чрезвычайных ситуаций);

3) создание предпосылок для гибкого увеличения и расширения предоставляемых сетью сервисов, что особенно важно для обеспечения эволюции распределенной системы радиолокационного контроля;

4) максимальное снижение затрат на коммуникационную составляющую в расчете на конечного потребителя.

Снижение рисков отказа отдельных компонент широкополосной сети достигалось соответствующими организационно-техническими методами, в том числе обоснованным резервированием устройств, интерфейсов и каналов, задействованных для решения конкретных целевых задач. Априорная оценка рисков выполнялась для всех элементов сети путем анализа последствий и скорости восстановления после возникающих одиночных и групповых сбоев отдельных составляющих. В зависимости от критичности последствий принималось решение о повышении отказоустойчивости отдельных компонентов. После выявления и локализации уязвимых мест производились натурные испытания, имитирующие аварийную ситуацию, позволяющие скорректировать как существующие аппаратно-программные конфигурации отдельных элементов сети, так и процедуры устранения аварийных ситуаций.

Обеспечение унификации подключения новых источников данных и центров обработки в системе радиолокационного контроля обеспечено за счет использования стандартизованных и типовых решений. Заложённая в сети «Евразия Телеком» технология Ethernet является сегодня единственной, которая считается обладающей запасом на будущее для всех типов приложений и услуг. Стратегически при построении распределенной системы радиолокационного контроля принимается во внимание полный спектр решений: LRE, Ethernet, беспроводные сети 802.11.

Реализованные в транспортной сети механизмы управления качеством обслуживания (QoS) дают возможность разворачивать в рамках системы радиолокационного контроля различные типы приложений, обеспечивая при этом необходимую приоритезацию для критичных к задержке служб. QoS достигается удовлетворени-

ем специфических требований к характеристикам пути, по которому доставляется единица передаваемой информации. Возможны следующие требования к характеристикам запрашиваемого сервиса:

- 1) обеспечение гарантированной пропускной способности;
- 2) обеспечение гарантированной задержки прохождения через сеть;
- 3) обеспечение минимальных потерь;
- 4) обеспечение равномерности доставки пакетов.

В исследуемой сети реализация QoS выполняется по следующим направлениям:

- 1) управление скоростями входных потоков;
- 2) классификация пакетов согласно модели их обслуживания;
- 3) распространение информации об этом в пределах IP-сети;
- 4) управление ресурсами внутри узлов IP-сети в случае перегрузки;
- 5) обеспечение минимальных потерь для передаваемого трафика.

Направления 1 и 2 взаимосвязаны и определяют различные классы пакетов, входящих в сеть, вместе с разрешенной для них входной интенсивностью поступления. С помощью произведенной на шаге 2 сегрегации далее решается задача 3 распространения информации о разных классах пакетов между узлами системы передачи данных. Это производится двумя методами: внешней сигнализацией и с помощью маркировки каждого индивидуального пакета в соответствии с его классом.

Управление ресурсами узлов IP-сети определяет политику по отношению к передаваемым пакетам в ситуации нехватки ресурсов (перегрузки), т. е. когда поток входящих данных кратковременно или постоянно превышает скорость разгрузки узла выходящим потоком.

При помощи информации, полученной на этапе 3, узел определяет свою политику 4 по отношению к разным категориям пакетов.

При этом основным методом управления являются разные стратегии буферизации. Например, поток пакетов, требующий доставки в реальном режиме времени, получает абсолютный приоритет и прерывает передачу других потоков, а потоки, главными требованиями которых является получение максимальной пропускной способности, делят между собой буфер значительного размера согласно относительного приоритета между собой.

Шаг 5 является дополнительной мерой, направленной на повышение эффективности работы протоколов надежной доставки

нечувствительного к задержкам трафика и включает в себя механизмы явного и неявного взаимодействия с протоколом четвертого уровня модели OSI (например, TCP).

Изучен вариант управления QoS на стороне клиента при помощи операционных систем Linux, Windows 2000 и Windows XP. Сформированы типовые конфигурации для разных типов трафика и приложений.

Немаловажное значение в рамках системы радиолокационного контроля приобретает также переход к услугам информационного содержания, прежде всего в части достигнутых результатов обработки полученных данных. Следует отдельно выделить услуги видео- и мультивещания.

Видеосодержание услуги видео может быть как широкодоступным, так и строго контролируемым – в зависимости от источника и аудитории, а также принятой конфиденциальности целевых данных. Услуга мультивещания видеопотоков ориентирована на широкий круг заинтересованных потребителей. Как пример, пользователи могут просматривать передаваемый видеопоток, описывающий метеобстановку, прямо в web-странице.

Одним из исследованных вариантов предоставления информационного контента явилось использование специализированных программно-аппаратных средств SSG, дающих широкие возможности по варьированию предоставляемых информационных сервисов и классов обслуживания. Исследования выполнялись применительно к серии маршрутизаторов Cisco 26xx, оснащенных соответствующей IOS.

Оптимизация стоимостных характеристик присоединения к коммуникационной среде обеспечивалась за счет рационального выбора используемых сетевых технологий, устройств и требуемых сочетаний классов обслуживания. В отдельных случаях стоимость подключения в расчете на одну точку присутствия составляла не более 300 дол., что делает возможным присоединение к подобной сети большого количества пользователей тематической радиолокационной информации (начиная от заинтересованных министерств и ведомств и закачивая физическими лицами, обеспечивающими, например, метеорологическую поддержку собственного досуга).

Проведенные эксперименты позволяют с уверенностью утверждать, что исследованные технологии, транспортные сети и методики могут быть с успехом использованы как для предоставления традиционных телекоммуникационных услуг, так и для построе-

ния единых национальных технологических сетей. Количество потребителей информации применительно к рассмотренной телекоммуникационной сети может достигать десятков тысяч с суммарной полосой пропускания более 10 Гбит/с.

В качестве одного из возможных направлений дальнейшего развития рассматривается использование привязных аэростатов для организации беспроводного доступа.

Возможными областями применения аэростатных технологий являются:

1) организация собственных воздушных точек присутствия для оказания услуг связи;

2) организация «воздушных площадок» для сдачи в аренду под размещение оборудования операторов связи и различных смежных служб.

В настоящий момент наибольший интерес представляют отечественные аэростатные системы «Рысь», «Ягуар» и «Пума».

В сильно населенных пунктах РФ возможны следующие варианты применения:

1) организация последней мили для традиционных потребителей телекоммуникационных услуг (операторы связи, организации и частные лица);

2) организация последней мили для дорожных датчиков в интересах Дорожного комитета;

3) обеспечение функционирования систем ДЗА (дистанционного зондирования атмосферы). Вероятные потребители – аэропорты, морские порты, дорожные службы, Росгидромет, МЧС, Госатомнадзор, МО.

Применительно к регионам РФ наибольший интерес представляет оказание услуг на пространственно разнесенных слабонаселенных территориях, прежде всего в местах расположения нефте- и газодобывающих предприятий (например, Республика Коми).

4.2. Рекурсивные вычислительные системы

4.2.1. История разработки рекурсивных машин

После организации кафедры вычислительных систем и сетей д.т.н. М. Б. Игнатьевым в Ленинградском институте авиационного приборостроения (ЛИАП) в 1972 г. кроме робототехники важным направ-

лением ее деятельности было выбрано создание развивающихся ВС нетрадиционной архитектуры. Чтобы понять логику такого решения, необходимо рассказать о состоянии мировой ВТ в начале 70-х гг.

В это время господствовала фирма ИВМ, грубо нарушая законы о монополиях и ведя судебные процессы во многих штатах внутри США и в других странах. Этот монополизм проявился и в компьютерной литературе – там описывались машины ИВМ, и почти ничего не говорилось о машинах других фирм, таких как «Контрол Дейта Корпорейшен», «Бэрроуз» и др., которые выступали конкурентами ИВМ. В машинах фирмы ИВМ реализовывалась классическая фоннеймановская архитектура, которая уже не могла удовлетворить потребителей. В Советском Союзе шла борьба между двумя тенденциями – развивать свои собственные разработки, такие как БЭСМ, «Урал» и др., или копировать зарубежный опыт, прежде всего машины ИВМ. В этой ситуации наша молодая кафедра, выделившаяся из кафедры технической кибернетики, решила развивать нетрадиционные многопроцессорные вычислительные системы, которые в перспективе обеспечивали высокую производительность и надежность. Для нас это решение было продолжением наших работ в области цифровых дифференциальных анализаторов, которые являлись многопроцессорными специализированными рекурсивными структурами с обратными связями, высокопроизводительными и надежными за счет введения избыточности методом избыточных переменных, который ранее был нами разработан. Важный шаг был сделан нашим доцентом В. А. Торгашевым, который предложил распространить и развить эти принципы на универсальные вычислительные машины. В итоге родилась концепция рекурсивных машин, которая получила поддержку Государственного комитета по науке и технике в Москве и Института кибернетики (ИК) во главе с академиком В. М. Глушковым в Киеве. Сложился коллектив из москвичей, которых представлял В. А. Мясников, из киевлян, которых представлял В. М. Глушков, и ленинградцев с общим центром в ЛИАП. В наиболее ярком виде эта концепция была представлена на международном конгрессе ИФИП в Стокгольме в 1974 г. в нашем докладе [45]. Советская делегация отнеслась к докладу очень холодно, зато иностранцы приветствовали доклад, который ниспровергал компьютерные авторитеты и традиционную архитектуру и провозглашал нетрадиционную рекурсивную, которая потом завоевала весь мир в виде систем клиент-сервер. Впервые советская компьютерная разработка была анонсирована

на международной арене, что привлекло внимание с разных сторон. Текст этого доклада представлен в прил. 3. Итогом этой акции было, во-первых, включение работы в программу ГКНТ и выделение финансов на создание экспериментального образца рекурсивной машины, во-вторых, соглашение с фирмой «Контрол Дейта» по созданию рекурсивной машины на основе наших архитектурных решений, в-третьих, предоставление самой лучшей для того времени элементной базы и средств отладки. М. Б. Игнатъев стал руководителем рабочей группы по сотрудничеству с фирмой «Контрол Дейта Корпорейшен» и в этом качестве развивал как проект по рекурсивной машине, так и другие проекты, в числе которых была покупка машины «Сайбер» для Ленинградского научного центра АН СССР, на базе этой машины организовался сначала Ленинградский научно-исследовательский вычислительный центр, а потом Ленинградский институт информатики и автоматизации АН СССР. Следует отметить, это было время некоторого потепления советско-американских отношений, именно в это время реализовывался проект «Союз-Аполлон».

Несколько слов о фирме «Контрол Дейта Корпорейшен». Эта фирма была организована в Миннеаполисе Биллом Норрисом в 1957 г., и ее первой машиной была CDC 1604. На этой же фирме работал Сеймур Крей, под руководством которого в 1962 г. была построена машина CDC 6600, которая состояла из центрального процессора и десяти процессоров ввода-вывода. Для своего времени это была самая мощная машина с быстродействием свыше одного мегафлопа. В это время CDC была серьезным соперником IBM. В 1972 г. Сеймур Крей организовал самостоятельную фирму Cray Research и создал серию мощных машин Cray. CDC тоже продолжала развивать линию мощных машин и выпустила серию машин Cyber, которые использовались для предсказания погоды и решения других сложных задач. Сотрудники CDC искали новые пути развития ВТ и в это время и произошла наша встреча с ними.

Таким образом, в результате стечения благоприятных обстоятельств нам удалось развернуть работу по реальному созданию рекурсивной машины. Закипела работа, в которой принимали участие сотрудники нашей кафедры – В. А. Торгашев, В. И. Шкиртиль, С. В. Горбачев, В. Б. Смирнов, В. М. Кисельников, А. М. Лупал, Ю. Е. Шейнин и многие другие. В результате к 1979 г. были изготовлены многие блоки машины и осенью 1979 г. экспериментальный образец рекурсивной машины был предъявлен государственной ко-

миссии во главе с академиком А. А. Дородницыным. В специальном Постановлении ГКНТ СССР и Комиссии Президиума Совета Министров СССР от 14.09.1979 г. за № 472/276 отмечалось, что запуск первого в мире экспериментального образца многопроцессорной рекурсивной машины высокой производительности и надежности является достижением мирового уровня. Были разработаны планы дальнейшего развития этой работы, но в декабре 1979 г. советские войска вошли в Афганистан и правительство США разорвало все научно-технические связи с СССР, в том числе и по линии фирмы «Контрол Дейта», что нанесло нам большой ущерб. Но работа продолжалась, хотя наш коллектив разделился – часть сотрудников в январе 1980 г. во главе с В. А. Торгашевым перешла в Ленинградский научно-исследовательский вычислительный центр АН СССР, другая часть продолжала работать на нашей кафедре над созданием различных модификаций многопроцессорных систем. В Институте кибернетики в Киеве был создан отдел рекурсивных машин. Таковы внешние контуры этой пионерской работы.

4.2.2. Принципы организации рекурсивных машин и систем

Рассмотрим принципы организации рекурсивных машин и систем. В математике существует большой раздел – рекурсивные функции. Долгое время термин «рекурсия» употреблялся математиками, не будучи четко определенным. Его приблизительный интуитивный смысл можно описать следующим образом. Значение искомой функции F в произвольной точке X (под точкой подразумевается набор значений аргументов) определяется через значения этой же функции в других точках H , которые в каком-то смысле предшествуют X . Само слово «рекурсия» означает возвращение. Рекурсивные функции – это вычислимые функции. По сути все вычислимые на компьютерах функции – это рекурсивные функции, но разные компьютерные архитектуры по-разному ведут вычислительные процессы. Чем лучше соответствует структура компьютера структуре задач, тем меньше затраты памяти и времени. И когда мы говорим о рекурсивных машинах, мы говорим о соответствии структур машины и задач, а так как задачи бывают разные, то структура машин должна гибко подстраиваться к структурам задач. Математика в настоящее время погружена в программирование, и в программировании рекурсивные операции распространены.

ЭВМ выступает как средство материализации логико-математических преобразований. ЭВМ являет собой иллюстрацию концепции потенциальной осуществимости, поскольку при отсутствии ограничений на время работы и емкость памяти любая ЭВМ в состоянии провести любые вычисления. Конкретное же протекание процессов вычисления проявляется лишь на уровне организации преобразований информации (задействуются конкретные регистры, коммутаторы, процессоры, линии передачи данных в определенном порядке и сочетании и т. д.). С этой точки зрения «архитектура ЭВМ» – это ее структура в состоянии (процессе) реализации алгоритма, т. е. как бы ожившая структура. Философской основой такого представления является теория отражения, раскрывающая отображение категорий и явлений одной природы (чисел, алгоритмов) на объекты другой природы (физические элементы, сигналы). Причем это отображение взаимно неоднозначно – алгоритму a_j может соответствовать множество архитектур $\{A\}$ и обратно – архитектуре A_j непосредственно не соответствует какой-либо алгоритм a_j . Специфика взаимодействия $\{a\}$ и $\{A\}$ раскрывает глубинные свойства диалектического процесса развития математики и ВТ как частного случая взаимодействия абстрактного и конкретного. Как отмечает С. А. Яновская, «лицо машинной математики все более зависит от развития философских и логических оснований математики». Не представляется возможным непротиворечивая формализация отображения $\{a\} \rightarrow \{A\}$ из-за его неоднозначности. Поэтому построить соответствующую аксиоматическую теорию проектирования ЭВМ не представляется возможным.

Когда мы формулировали принципы организации рекурсивных машин, мы исходили из потребностей развития вычислительных машин и систем, получили множество авторских свидетельств [47–49 и др.], это был интересный творческий процесс, и с точки зрения достоверности сделанного тогда, в 1974–1979 гг., стоило бы полностью прочесть наш доклад на конгрессе ИФИП в Стокгольме [45]. Этот доклад содержал анализ недостатков машин традиционной архитектуры, ревизию принципов фон Неймана, принципы архитектуры рекурсивных машин, основные особенности языка рекурсивных машин, фрагментарное описание рекурсивной машины. В качестве иллюстрации рекурсивной структуры можно привести систему 3М – модульную микропроцессорную систему [52]. Система 3М строится из модулей трех типов – операционных, коммуникационных и интерфейсных.

Операционные модули выполняют основную работу по обработке данных, реализации объектов математической памяти, процессов определения готовности и выполнения операторов программы на внутреннем языке. Коммуникационный модуль предназначен для реализации коммуникационной системы – установления логического соединения между модулями, обмена информацией между модулями, поиска в системе ресурсов запрошенного типа. Интерфейсные модули подключаются к внешним устройствам своими блоками ввода-вывода. Вопросы организации обмена информацией с внешним миром имеют большое значение для существенно многопроцессорных систем, оказывают значительное влияние на их фактические характеристики. Различные классы задач требуют различной интенсивности обмена с внешними устройствами. Вычислительная система должна обеспечивать построение таких ее конфигураций для каждого конкретного применения, которые бы обладали оптимальными для этого применения характеристиками по вводу-выводу. Система ЗМ обеспечивает инкрементное наращивание вычислительной мощности до любого необходимого значения путем подключения дополнительных блоков без внесения изменений в имеющуюся систему и ее ПО как на этапе разработки системы, так и в ходе ее эксплуатации. Методология проектирования и реализации системы ЗМ базируется на рассмотрении ВС как иерархии виртуальных машин. Система ЗМ имеет рекурсивно-организованную многоуровневую структуру. Рекурсивность структуры состоит в том, что структура всякой модификации системы задается рекурсивным определением. Развитие рекурсивной структуры осуществляется с помощью операции поляризации. Динамически меняющиеся в ходе вычислений виртуальные процессы требуют постоянной динамической реконфигурации связей между модулями. Сейчас реализуются системы, содержащие тысячи и миллионы процессоров.

4.2.3. Экспериментальная реализация вычислительных систем для динамических параллельных вычислений

Ниже рассматриваются экспериментальные образцы, разработанные с 1974 г.

Микропроцессорная рекурсивная вычислительная машина (1979 г.).

Первой экспериментальной параллельной ВС на микропроцессорных СВИС был экспериментальный четырехпроцессорный образец рекурсивной ЭВМ (РВМ).

Экспериментальный образец РВМ включал 2 вычислительных модуля, один коммуникационный модуль и интерфейсный модуль (процессор ввода-вывода) (рис. 4.2). Построенный на секционных микропроцессорах, он показал принципиальную возможность создания модульных параллельных ВС с распределенной архитектурой, с организацией распределенных параллельных вычислений и при их эффективной поддержке в архитектуре, и структуре модулей параллельных ВС – вычислительных модулей, реализовывавших собственно вычисления и новые механизмы децентрализованного управления, коммуникационных модулей, аппаратно-микропрограммно реализовывавших функции и протоколы коммуникационной системы для взаимодействия параллельных процессов, идущих в вычислительных модулях. Операторы внутреннего языка РВМ – языка высокого уровня – соответствовали средне-гранулярным, микропрограммно реализованным процессам обработки информации. Управляющие операторы внутреннего языка реализовывали основные механизмы управления параллельными вычислениями на уровне сети таких операторов.

Модульная масштабируемая параллельная микропроцессорная ВС «Система 3М» (1982–1985 гг.).

По результатам испытаний экспериментального образца микропроцессорной ВС были организованы работы по разработке и созданию высокопроизводительных параллельных ЭВМ – рекурсивных. Работы проводились в сотрудничестве ИК и ЛИАП, с привлечением ряда промышленных организаций. В ИК создана большая макро-

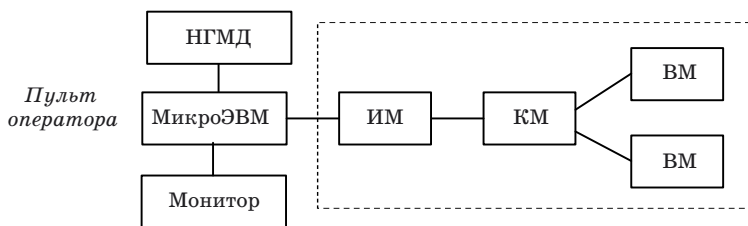


Рис. 4.2. Структура ячейки экспериментального образца микропроцессорной РВМ: НГМД – накопитель на гибком магнитном диске; ИМ, КМ, ВМ – интерфейсный, коммуникационный и вычислительный модули соответственно

конвейерная ВС класса mainframe для вычислений большой разрядности (64–128 разрядов), с перспективами масштабирования на уровень суперкомпьютерных ВС. В ЛИАП разработана модульная масштабируемая параллельная ВС «Система 3М» на микропроцессорной элементной базе для решения задач с разрядностью 16–32 разряда.

Обе параллельные ВС воплощали совместно разработанный комплекс подходов к организации параллельных ВС с распределенной архитектурой, обменом сообщениями с коммутацией пакетов по высокоскоростным каналам внутрисистемной связи, децентрализованным управлением вычислительным процессом. Это позволило применить ряд разработанных нами подходов к асинхронному управлению параллельными вычислениями и в разработке программной организации макроконвейерной ЭВМ. В то же время каждый проект характеризовался своими оригинальными архитектурными и структурными решениями в организации параллельной ВС и ее модулей, их системном программном обеспечении.

В проекте «Система 3М» большое внимание уделялось модульности и масштабируемости системы. Общая структура проекта «Система 3М» приведена на рис. 4.3. Структура разработанной параллельной ВС включала 32 ВМ и 16 КМ. Модульная структура с рекурсивно определяемой топологией связи обеспечивала масштабирование параллельной ВС путем увеличения числа модулей при сохранении как структуры модулей, так и системного и прикладного ПО.

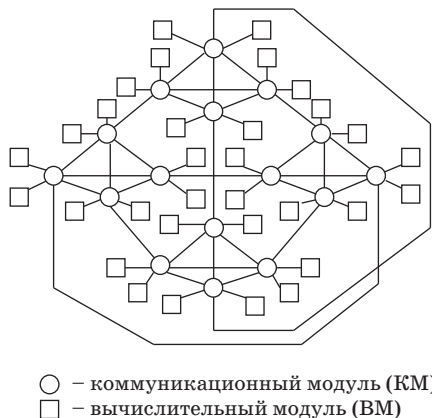


Рис. 4.3. Проект 32-процессорной микропроцессорной параллельной ВС «Система 3М»

Поддержка свойства масштабируемости в системных механизмах распределенной операционной системы (ОС) и КМ позволяет создавать на типовых узлах ограниченной номенклатуры программно-совместимые параллельные ВС с широким диапазо-

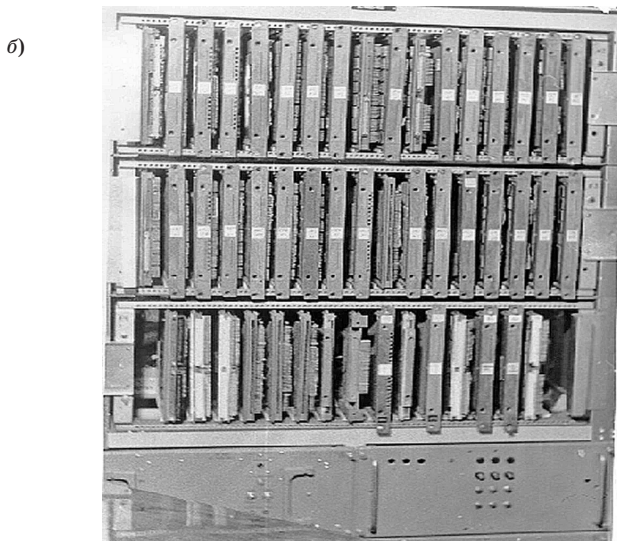
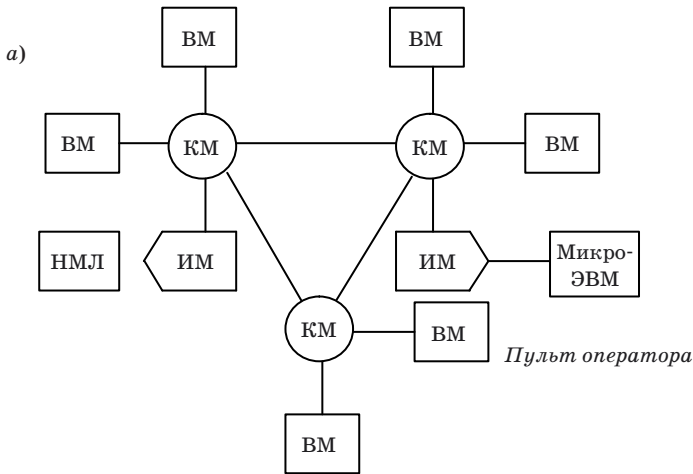


Рис. 4.4. Структура (а) и общий вид (б) экспериментального образца параллельной ВС «Система 3М» (ЛИАП, 1982–1985)

ном характеристик по производительности, объему памяти и пропускной способности ввода-вывода (использовалось 3 типа модулей – ВМ, КМ и ИМ).

Был создан экспериментальный образец «Системы 3М» (рис. 4.4, а, б) разработано его системное ПО, проведен большой комплекс исследований и экспериментов по решению на нем прикладных задач различного класса.

Параллельная ВС на базе микроЭВМ «Электроника 81Б» (1986–1988 гг.).

Развитие микропроцессорной техники, создание все более мощных микропроцессоров и достаточно производительных микропроцессорных узлов на их основе, освоение их серийного производства и применение для широкого круга задач поставили вопрос о создании параллельных ВС на основе серийно выпускаемых микропроцессорных модулей, в том числе для систем специального назначения.

При реализациях параллельных ВС на готовых микропроцессорных узлах (лет через десять этот подход получил название COTS – Commercial Of The Shelf) функциям и свойствам ВМ уровня логической структуры на уровне физической структуры наиболее полно соответствует пара ВМ – ТКМ (терминальный коммуникационный модуль). Эта комбинация дает основу для реализации полного набора функций ВМ. ТКМ в таких системах подключается на системную (локальную) шину серийного микропроцессорного узла (Q-bus, VME, PCI) и занимает место коммуникационного контроллера (КК).

Параллельная ВС такого класса была разработана нами на основе микроЭВМ «Электроника 81Б», пригодных и для возимых, и для бортовых применений. На стандартную системную шину (Q-bus) в качестве КК подключается специальная, относительно несложная плата, реализующая высокоскоростной дуплексный внутрисистемный интерфейс параллельной ВС (рис. 4.5). Учитывая ограниченный диапазон масштабируемости для разрабатывавшихся параллельных ВС, а также целевые области применения, в данном проекте параллельной ВС (название РМВС – распределенная мультипроцессорная ВС), была принята линия на перенос сложности реализации внутрисистемных протоколов с КК ВМ на КМ. Для РМВС в качестве КМ был использован транспьютерный модуль РТ841. Аппаратно-микропрограммная реализация внутрисистемных протоколов нижнего уровня, доступный микропрограммный уровень

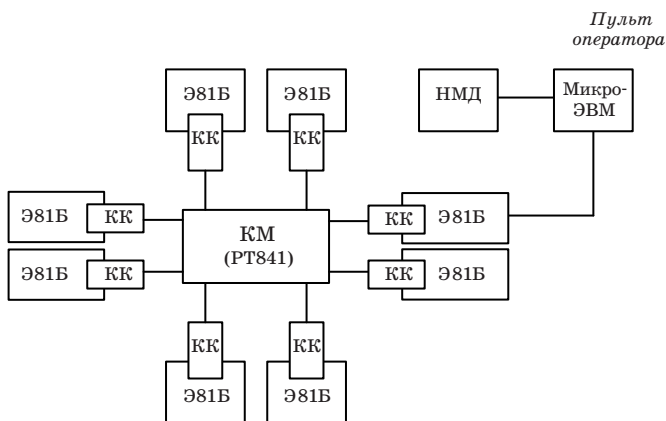


Рис. 4.5. Параллельная ВС на базе серийных микроЭВМ «Электроника 81Б» (Э81Б – микроЭВМ «Электроника 81Б»)

и специализированные на логическую обработку параллельные блоки, при достаточно высокой тактовой частоте, позволили сбалансировать характеристики коммуникационной системы на базе такого ТКМ с максимальной пропускной способностью, которую могут обеспечить ВМ на базе «Электроника 81Б», в конфигурациях до 8 ВМ. Большие конфигурации (до 18 ВМ) комплексируются с использованием трех КМ, объединенных в полностью связанную структуру, где удельная пропускная способность (ПС) (пропускная способность на один ВМ) остается в том же диапазоне, что и для базовой мультипроцессорной конфигурации с одним ВМ. Для созданного в ЛИАП экспериментального образца РМВС (конфигурация с 8 ВМ и 1 КМ) была разработана распределенная ОС, система программирования на языке Си, система отладки с распределенным отладочным монитором (РОМ) [52, 53]. Операционная система РМВС послужила прообразом разработанной в 90-х гг. операционной системы НевОС. Опыт создания системы параллельного программирования для РМВС, ее применения для программирования достаточно больших программных комплексов послужили отправной точкой для постановки работ по системам визуального параллельного программирования, создания в последующие годы языка и системы программирования ВИЗА.

Параллельные ВС и проекты отечественных микропроцессоров архитектуры периода 1989–1992 гг.

Другая линия развития параллельных ВС, объединяющая разработку специальной структуры ВМ с использованием в качестве его ядра СВИС микропроцессора с фиксированной системой команд, была проработана для отечественных проектов 32-разрядных микропроцессоров новой архитектуры, разрабатывавшихся в конце 80 – начале 90-х гг. В качестве ядра ВМ были рассмотрены (совместно с НПО «Элас», Зеленоград) микропроцессор «Салют», разрабатывавшийся для бортовых вычислительных комплексов (ВК) перспективных космических аппаратов, и микропроцессор «Эль-90» – реализация архитектуры «Эльбрус» (совместно с ИТ-МиВТ). И в том, и в другом микропроцессорном наборе имелись возможности интеграции в структуру ядра ВМ специализированного КК и расширения базовой системы команд некоторой формой экстракодов. Структура ВМ на базе микропроцессора «Салют» приведена на рис. 4.6.

Учитывая вариант включения функций ТКМ в перечень прямо аппаратно-программно реализуемых в ВМ функций (с исключением ТКМ как самостоятельного компонента физической структуры) и, в духе транспьютерных технологий, можно считать такое «поглощение» ТКМ ВМ наиболее перспективным вариантом. Это позволило погрузить в архитектуру ВМ КК для внутрисистемных коммуникаций в параллельной ВС, реализовать алгоритмы КС с высокой эффективностью.

Вариант структуры многоканального модуля узла ВПВС на базе микропроцессора «Салют»

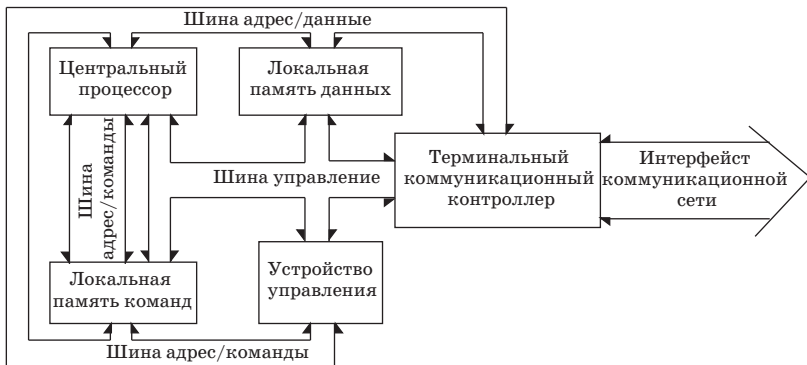


Рис. 4.6. Структура ВМ на базе микропроцессора «Салют»

Параллельные ВС на транспьютерных технологиях (1992–1994 гг.)

Развитие в мире транспьютерных технологий определило интерес отечественной промышленности к этому классу ВС и направление ряда наших проектов в области параллельных ВС. Проведенные исследования и эксперименты с транспьютерными модулями на основе транспьютеров Т805 показали преимущества глубокой интеграции механизмов управления процессами, мультипрограммного режима работы транспьютера как компонента параллельной ВС с распределенной архитектурой. В то же время были видны и преимущества наших подходов с инкапсулированием последовательных программ внутри процессов – целостных компонентов параллельной схемы программы, с более высоким уровнем сервиса коммуникационной системы (КС) и используемых в ней протоколов, развитых средств сегментации и управления памятью в архитектуре ВМ. Выводы наших исследований были подтверждены и практикой развития самих транспьютерных технологий, появлением нового поколения транспьютеров – Т9000. Т9000 развивал транспьютерные архитектуры именно в тех направлениях, которые указывались нами как ограничения семейства Т800, которые отличали наши архитектурные и структурные решения в указанных выше проектах. Хотя и в Т9000 мы не увидели полного набора искомых функциональных возможностей для системной поддержки динамических параллельных вычислений в параллельных ВС с распределенной архитектурой, в целом они давали хорошую основу для построения параллельных ВС. Недостающие механизмы реализовывались на них программно, в ядре ОС, с приемлемой эффективностью.

Был разработан проект параллельной ВС на транспьютерах для бортовых комплексов бортового оборудования перспективных самолетов (рис. 4.7).

Кластерная ВС на серийных высокопроизводительных системных блоках и сетевых средствах.

Разработан проект высокопроизводительной кластерной ВС, с масштабируемой конфигурацией, полностью на серийных технических средствах: системных блоках ПЭВМ, серийных сетевых контроллерах и коммутаторах, с диапазоном производительности от 10 до 100 Гфлоп, при стоимости порядка 0,3\$ за 1 Мфлоп (300\$ за 1 Гфлоп) (оценки по техническим характеристикам микропроцессоров на июнь 2001 г.). На рис. 4.8 и 4.9 представлены структуры 8- и 36-процессорных конфигураций кластерной ВС.

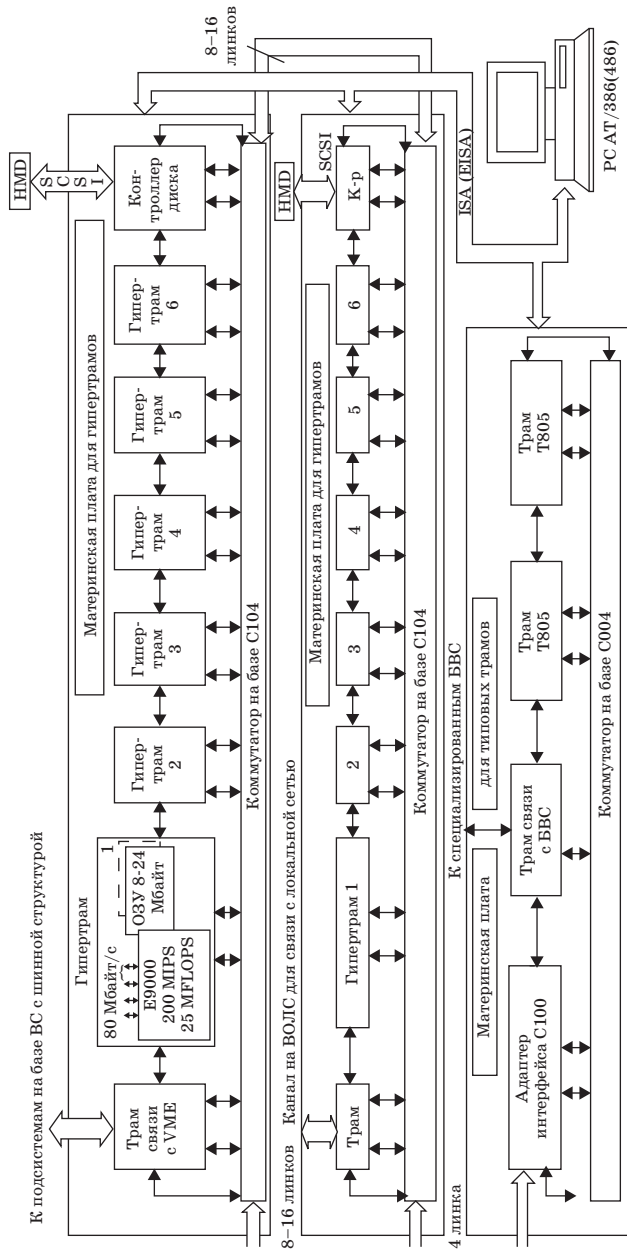


Рис. 4.7. Структура макета транспортной ВС на серийных транзисторных модулях («гипертрамах»)

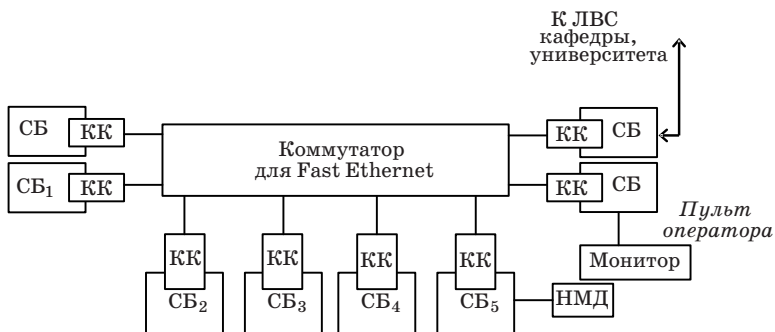
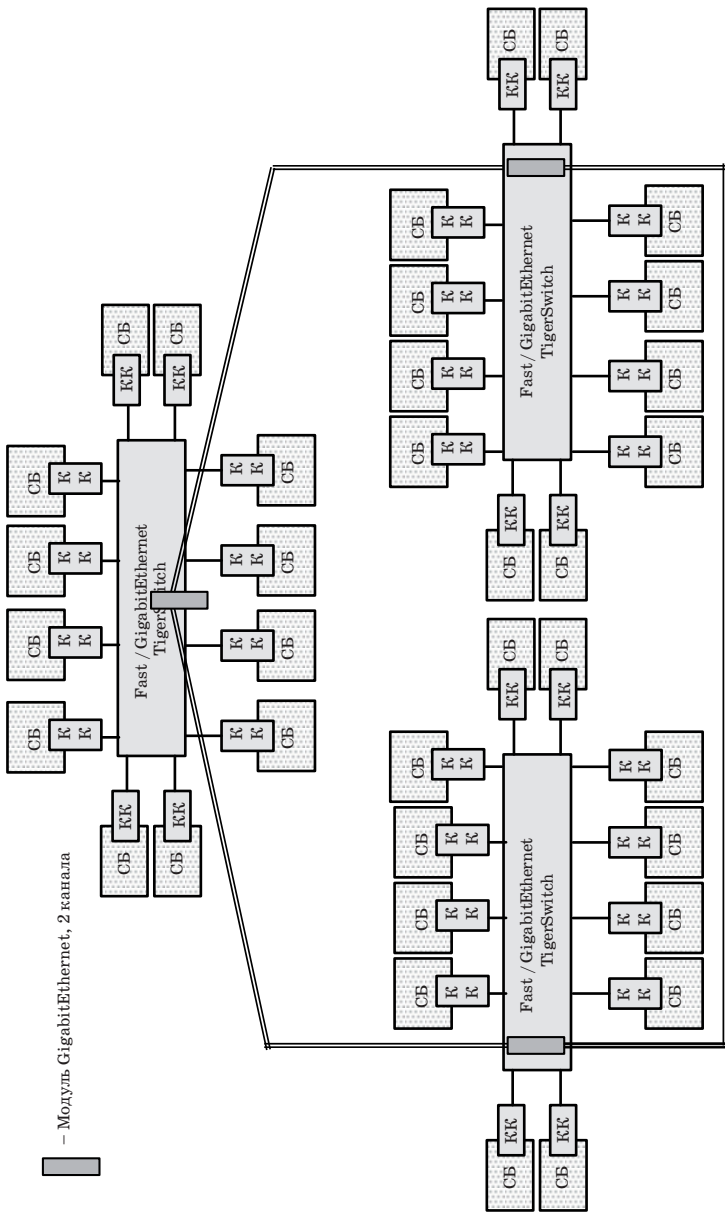


Рис. 4.8. Структура кластерной ВС на серийных системных блоках и сетевых средствах

Разработка параллельных кластерных ВС лежит в русле основных современных тенденций создания высокопроизводительных средств вычислительной техники (СВТ) широкого применения для решения современных сложных нерегулярных вычислительных задач [26]. С другой стороны, для нас это возврат, на новом этапе, к созданию параллельных ВС на основе серийно выпускаемых блоков вычислительной техники, который был нами апробирован в параллельной ВС на микроЭВМ «Электроника 81Б».

Однако отличие проекта кластерных ВС в том, что он строится с ориентацией на создание СВТ широкого применения, где, кроме показателя абсолютной производительности ВС, важное значение имеют технико-экономические характеристики, *удельная стоимость* достигаемой производительности. Это определяет отличия в подходах к проектированию кластерной ВС, ориентацию на максимальное использование серийных (за счет этого – дешевых) технических средств для реализации физического уровня параллельной ВС. Если в проекте параллельной ВС готовыми компонентами были микроЭВМ – основа ВМ параллельной ВС, а средства реализации коммуникационной системы были специально разработаны, то настоящий проект кластерной ВС использует готовые технические средства и в качестве основы построения КС. Средства реализации КС составляют существенную часть затрат на посторонние кластерные ВС. (Например, Томас Стерлинг оценивает приемлемый уровень расходов на КС кластерной системы в 25–30% от всех расходов на аппаратуру кластерной ВС [27].)



— Модуль GigabitEthernet, 2 канала

Рис. 4.9. 36-процессорная кластерная ВС

Такой подход в данном нашем проекте стал возможен благодаря существенным сдвигам в развитии архитектуры и структуры сетевых средств, методов их взаимодействия с ЭВМ, которые стали реальностью со времени создания параллельной ВС. Выросли технико-экономические характеристики средств локальных сетей массового применения. Сетевые контроллеры Fast Ethernet для шины PCI стали массовой продукцией по цене 15–35\$, стоимость сетевых контроллеров Gigabit Ethernet из диапазона тысячи долларов перешла в диапазон сотни долларов.

В сетевых средствах массового производства произошел переход от моноканальных архитектур с использованием физической или логической шины (концентраторов) к архитектурам с коммутацией кадров. Замена моноканала на коммутатор с масштабируемой структурой позволяет масштабировать пропускную способность КС с ростом числа абонентов – ВМ, иметь низкие значения задержек передачи сообщений L и сохранять их при росте числа ВМ в кластерной ВС.

Кроме того, построенная на коммутаторах структура локальной ВС (а в кластерной ВС – ее КС) переводит все связи между узлами физической структуры параллельной ВС в категорию каналов «точка-точка» как на физическом, так и на канальном уровне. Это позволило во многих серийно выпускаемых сетевых блоках перейти на дуплексный режим работы канала подключения КК в ВМ к сетевой инфраструктуре, что дает почти двойное увеличение пропускной способности стыка ВМ с КС.

Другая оборотная сторона применения серийных средств локальных сетей для КС – ограниченная масштабируемость кластерных ВС на серийных технических средствах (в данном контексте – сетевых средствах). Для малых конфигураций кластерных ВС (например, с одним коммутатором средней стоимости) удельная пропускная способность КС на одного абонента, показатели L, o, g будут определяться тем, что позволяют получить используемые технические средства ВМ, узла параллельной кластерной ВС – сетевого контроллера, системного блока. Нарращивание конфигурации в пределах, определяемых заложенными в серийный коммутатор возможностями наращивания (stackable switches) и комплексирования с другими коммутаторами по каналам повышенной пропускной способности (например, каналов Gigabit Ethernet для коммутаторов FastEthernet), позволяет не ухудшать эти показатели при масштабировании системы. Так, удельные

показатели КС 36-процессорной конфигурации кластерной ВС, будут практически такими же, как и для 8-процессорной конфигурации.

Конечно, можно поставить и тысячу, и десять тысяч системных блоков ПЭВМ и соединить их некоторой структурой КС с сетью из коммутаторов и кабелей между ними. В мире известны пара десятков кластерных ВС с числом процессоров больше тысячи. Однако для каждого из имеющегося на рынке набора серийных сетевых блоков будут свои ограничения на возможность масштабирования структуры сети с сохранением удельной пропускной способности на одного абонента КС. Дальнейшее увеличение числа абонентов сети ведет к уменьшению пропускной способности КС в расчете на одного абонента, к росту показателей L , o , g , критичных для функционирования параллельной ВС. И такая кластерная ВС будет работоспособна, и она сможет решать задачи. Однако, как мы показывали в гл. 3, на все большем числе задач будут расти потери ресурса процессорного времени и падать эффективная производительность. Эти факторы и приводят к тому, что эффективная производительность кластерных ВС (real applications performance – RAP) оценивается как 5–15% от их пиковой производительности (peak advertised performance – PAP) [60]. Для сравнения, у лучше сбалансированных профессиональных высокопроизводительных ВК – малопроцессорных ВК из векторных процессоров, это соотношение оценивается как 30–50%.

Наконец, большое значение имеет появление поддержки архитектуры виртуального интерфейса (Virtual Interface Architecture – VIA) в архитектуре КК и сопровождающих их драйверах для серийных ОС (в нашем случае – для ОС Linux). Качественно новый уровень организации взаимодействия ПО, выполняющегося на центральном процессоре ВМ, с КК позволяет существенно снизить накладные расходы o и задержки передачи сообщений L . Так, например, накладные расходы o удастся сократить до 4 мкс [60]. В нашей кластерной ВС мы используем сетевые контроллеры типа Intel Pro 10/100 с драйверами M-VIA для ОС Linux 6.2.

Еще лучшие характеристики можно получать при использовании коммуникационной среды, построенной по технологии АТМ [60]. Для этой технологии также серийно выпускаются и КК, и коммутаторы. Однако современный рынок СВТ сложился таким образом, что сетевые средства по технологии АТМ не получили столь массового распространения, как технологии Ethernet.

4.3. Технологии защиты информации

Задача защиты информации от комплекса естественных и искусственных помех не только остается актуальной при организации передачи информации в сетях интегрального обслуживания, но и приобретает все большее значение в связи с повышением требований к уровню криптостойкости таких сетей. При этом развитие современных открытых сетей передачи информации (сетей общего пользования) привело к появлению разнообразных задач, ранее в криптографии не рассматривавшихся. В частности, при разработке систем информационной безопасности для распределенных ВС реального времени, сенсорных сетей, сетей мобильной связи, в ряде других сетевых приложений стоимостные, энергетические или габаритные требования диктуют необходимость выполнения ограничений на память и/или быстроедействие используемых процессоров. Между тем стандартизованные алгоритмы аутентификации и распределения ключей основаны на вычислительно трудоемких алгоритмах, что делает проблематичным их использование в указанных приложениях. Одним из актуальных направлений прикладной криптографии в настоящее время является разработка систем информационной безопасности, ориентированных на использование в устройствах с ограниченными вычислительными и энергетическими ресурсами.

В 2003–2006 гг. в ГУАП проводились работы по созданию безопасных сетевых технологий и внедрению их в международные стандарты связи.

Основные полученные результаты.

1. Разработаны алгоритмы распределения ключей в децентрализованных сетях. Алгоритмы ориентированы на реализацию с помощью устройств малой вычислительной мощности.

2. Разработан метод защиты информации на физическом уровне, позволяющий осуществлять совместную защиту информации от ошибок в канале связи и от несанкционированного доступа.

3. Предложены схемы безопасной агрегации информации, которые позволяют организовать безопасный обмен информацией без увеличения избыточности.

4. Внесены предложения по обеспечению безопасности информации в международные стандарты передачи информации IEEE 802.11i, 802.11s, 802.11w.

Важным результатом работ в области безопасных информационных технологий стало создание в ГУАП совместной с корпорацией «Самсунг» лаборатории в области защиты сетевой информации.

4.4. Технологии системы-на-кристалле

Развитие технологий производства интегральных схем за последнее десятилетие привело к радикальным изменениям в технике и технологии создания систем на их основе. Современные интегральные схемы могут содержать сотни миллионов транзисторов. В проектных нормах промышленные интегральные технологии в последние годы преодолели барьер в 100 нм (0,1 мкм) и вторглись в область нанотехнологий (1–100 нм). В прогнозируемых на следующий год промышленных технологиях с проектной нормой в 45 нм кристаллы СВИС будут содержать уже порядка 10 млрд транзисторов на кристалле. Прогнозы промышленности показывают как минимум на 10 лет вперед и дальнейший рост степени интеграции по известному закону Мура – удвоение числа транзисторов на кристалле каждые 1,5–2 года.

Столь радикальные количественные изменения приводят к качественным изменениям в технике и технологии создания систем обработки, передачи информации и управления с использованием интегральных технологий. Стирается грань между понятиями «элементная база», «прибор», «система». Растет доля проектов систем, ориентированных на построение систем-на-кристалле, (СнК, Systems-on-Chip – SoC). Мировой рынок электронной компонентной базы (ЭКБ) класса систем-на-кристалле оценивается в 30 млрд дол. к 2010 г.

Системы-на-кристалле второго поколения определяются как однокристалльные многофункциональные устройства, с несколькими процессорными ядрами внутри, которые управляют различными функциональными подсистемами со встроенным системным и прикладным ПО (firmware), реализующие законченное решение целевой задачи.

В ГУАП в 2003–2006 гг. велись работы в области СнК.

Основные полученные результаты.

1. Предложена формальная модель параллельных вычислений в неоднородных многоядерных СнК класса «сети-на-кристалле» (Network-on-Chip – NoC), на основе которой разработан ряд строгих и эвристических алгоритмов размещения процессов среднегранулярных параллельных программ на процессорные ядра неоднородных многоядерных СнК.

2. Разработана формальная модель соединений для системного уровня проектирования (System Level Design) СнК, на основе которой предложены методики оптимизации топологии связей между

процессорными узлами и размещения ядер в структуре многоядерных СнК с учетом энергопотребления.

3. Разработаны методы и алгоритмы встроенной автоконфигурации многоядерных СнК с обменом сообщениями, базирующиеся на децентрализованном тестировании и коллегиальном принятии решений об исправности вычислительных узлов СнК, позволяющие автоматически исключать неисправные узлы и формировать исправную конфигурацию при включении СнК.

Исследования в области кибернетики-информатики в ЛИАП-ГУАП имеют уже 45-летнюю историю.

Важным аспектом развития вычислительной техники было создание бортовых вычислительных машин. Управление подвижными объектами в изменяющейся среде является сложной задачей, решение которой требует обработки большого количества информации с высоким быстродействием. Первые бортовые машины были созданы в авиации, потом появились бортовые вычислительные системы морских судов, в настоящее время создаются бортовые вычислительные системы автомобилей и роботов.

В Советском Союзе и в России важные работы в направлении создания авиационных бортовых машин были проведены ОКБ «Электроавтоматика». С этой организацией и ее сотрудниками наш университет (ЛИАП-ГУАП) на протяжении многих лет тесно связан как совместными научно-исследовательскими работами, так и по линии подготовки кадров – сотрудники ОКБ «Электроавтоматика» преподавали в ЛИАП-ГУАП, студенты проходили практику на этом предприятии, там работают и многие выпускники.

В настоящем учебном пособии в прил. 1 отражается 40-летняя история работы ОКБ «Электроавтоматика» в области создания бортовых вычислительных систем, авторы этой статьи – известные специалисты Р. А. Шек-Иовсеянц, Ю. И. Сабо и Б. В. Уткин, лауреаты Государственной премии СССР.

4.5. Закон Амдала

Закон Амдала (иногда также *закон Амдала-Уэра*) иллюстрирует ограничение роста производительности ВС с увеличением количества вычислителей.

Предположим, что необходимо решить некоторую вычислительную задачу. Предположим, что ее алгоритм таков, что доля α от

общего объема вычислений может быть получена только последовательными расчетами, соответственно, доля $1 - \alpha$ может быть распараллелена идеально (т. е. время вычисления будет обратно пропорционально числу задействованных узлов p). Тогда ускорение, которое может быть получено на ВС из p процессоров, по сравнению с однопроцессорным решением не будет превышать величины

$$S_p = \frac{1}{\alpha + \frac{1-\alpha}{p}}$$

Во сколько раз быстрее выполнится программа с долей последовательных вычислений α при использовании p процессоров.

Таблица 4.6

α , %	p , шт.		
	10	100	1000
0	10	100	1000
10	5,263	9,174	9,910
25	3,077	3,883	3,988
40	2,174	2,463	2,496

Из таблицы видно, что только алгоритм, вовсе не содержащий последовательных вычислений ($\alpha = 0$), позволяет получить линейный прирост производительности с ростом количества вычислителей в системе. Если доля последовательных вычислений в алгоритме равна 25%, то увеличение числа процессоров до 10 дает ускорение в 3,077 раза (эффективность 30,77%), а увеличение числа процессоров до 1000 – в 3,988 раза (эффективность 0,4%).

Отсюда же очевидно, что при доле последовательных вычислений α общий прирост производительности не может превысить $1 / \alpha$. Так, если половина кода – последовательная, то общий прирост никогда не превысит двух.

Закон Амдала показывает, что прирост эффективности вычислений зависит от алгоритма задачи и ограничен сверху для любой задачи с $\alpha \neq 0$. Не для всякой задачи имеет смысл наращивание числа процессоров в ВС.

Более того, если учесть время, необходимое для передачи данных между узлами ВС, то зависимость времени вычислений от числа узлов будет иметь максимум. Это накладывает ограничение на масштабируемость ВС, т. е. означает, что с определенного момента

добавление новых узлов в систему будет увеличивать время расчета задачи.

Рекурсивная структура – это по сути структура с автоматическим распараллеливанием в зависимости от структуры задачи. Если n – количество процессоров, m – количество задач (задачу можно трактовать как ограничение), то s – количество произвольных коэффициентов, позволяющих подстраиваться в рамках решаемых задач, которое характеризует адаптационные возможности кластеров.

4.6. Мир как модель внутри сверхмашины

Картина мира в каждую из эпох формируется на основе синтеза всех достижений во всех сферах человеческой деятельности. В эпоху расцвета механики сформировался механицизм, в эпоху развития компьютерной техники естественно ожидать формирования компьютеризма. Так называемый реальный мир – это один из миров виртуальных. Антропный принцип реализуется через лингвистику и операцию поляризации.

При описании Вселенной напрашиваются биологические аналогии и самоорганизация с внешним и внутренним управлением. Неклассические науки привнесли в картину мира наблюдателя, постнеклассические – управителя.

Для всех пользователей компьютера очевидно, что в компьютере могут одновременно сосуществовать несколько моделей, несколько баз данных, несколько отдельных вычислительных процессов. Эти отдельные вычислительные структуры могут быть сильно защищены от несанкционированного доступа, но усилиями хакеров могут быть и взломаны. Поэтому логично предположить, что наш мир – это модель внутри сверхмашины, внутри сверхмашины могут находиться и другие миры, которые отделены друг от друга. Но иногда эта изоляция нарушается и тогда в нашем мире происходят различные необычные явления.

Существует несколько гипотез относительно устройства нашего мира. Одна из них – наш мир конечен и все сценарии его развития записаны в памяти сверхкомпьютера Вселенной. Тогда для того чтобы предсказать будущее событие, нужно получить доступ к этой памяти, и некоторым – пророкам – это удается.

В связи с изложенным хотелось рассмотреть проблемы развития вычислительной техники. Вычислительные машины предназна-

чены для решения задач. Общая схема решения задач имеет вид Ячел – >Яос – >Япр – >Ямаш –>Ярез.

К сожалению, для большинства задач имеется только формулировка на естественном языке, большинство задач плохо формализованы. Поэтому актуальным является переход от описания на естественном языке на язык основных соотношений, лингвокомбинаторное моделирование является одним из способов такой формализации, чему была посвящена гл. 2. В результате такой формализации порождаются рекурсивные структуры со структурированной неопределенностью. Таким образом, рекурсивная структура машин и сетей должна включать три составляющие: явления, смыслы и структурированную неопределенность, – которые наличествуют в любой задаче.

В свое время Альберт Эйнштейн сказал: «Человек – это часть целого, которое мы называем Вселенной, часть, ограниченная во времени и пространстве. Он ощущает себя, свои мысли и чувства как нечто отдельное от всего остального мира, что является своего рода оптическим обманом. Эта иллюзия стала темницей для нас, ограничивающей нас миром собственных желаний и привязанностью к узкому кругу близких нам людей. Наша задача – освободиться из этой тюрьмы, расширив сферу своего участия до всякого живого существа, до целого мира, во всем его великолепии. Никто не может выполнить такую задачу до конца, но уже сами попытки достичь эту цель являются частью освобождения и основанием для внутренней уверенности» [76, с. 28].

Каждая система может иметь свою компьютерную модель. Например, при проектировании здания необходимо иметь трехмерную интерактивную модель здания и всех его помещений, после строительства здания эта модель может быть использована для оперативного управления зданием, особенно в экстремальных ситуациях (пожар, нападение и др.). Аналогично при проектировании корабля необходимо иметь сначала цифровую модель корабля со всеми помещениями и системами, испытать эту модель в различных условиях на море и только потом строить корабль. На построенном корабле модель корабля может быть использована для оперативного управления в различных ситуациях, например в случае пробойны в том или ином месте. Что должен делать экипаж, определяется должностными инструкциями, но на модели можно проиграть самые различные варианты и выбрать наилучший.

При лечении человека можно построить модель человеческого организма и сначала промоделировать результаты возможных врачебных действий, а потом уж лечить либо хирургически, либо медикаментозно. Модель организма конкретного человека должна сопровождать его всю жизнь, что безусловно улучшит уровень медицинского обслуживания человека. Но люди смертны, куда должна деваться модель человеческого организма, на создание которой было затрачено так много усилий и ресурсов? Мы сейчас говорим об искусственной компьютерной модели человека, но, может быть, у каждого человека уже есть такая естественная модель? Эта модель может передаваться с помощью радиоимпульса.

По современным представлениям, наш мозг состоит из трех частей, во-первых, это его как бы аппаратное обеспечение (Brain), во-вторых, это его как бы внутреннее ПО (Mind, Intellect), в-третьих, это его как бы внешнее ПО (Consciousness), – мы осознаем только то, что происходит на внешнем уровне. Можно высказать гипотезу, что на первом уровне происходит оперирование структурированной неопределенностью, на втором уровне – смыслами, а на третьем уровне – словами.

В настоящее время мировая наука интенсивно работает над разгадкой человеческого сознания [73–78].

Люди в основном пользуются моделями XIX в., когда господствовала механика, а самой распространенной машиной были механические часы с пружинами, колесиками и маятниками.

В наше время самая распространенная машина – это компьютер. Различные аспекты эволюции вычислительной техники были рассмотрены выше. Компьютер – это не только машина для вычислений и обработки информации, это еще и модель мира. Понимание мировоззренческого значения компьютера еще только начинается. Современный компьютер – это прежде всего экран, через который люди получают наибольшее количество информации. Экраны совершенствуются, и сейчас люди уже получают через них трехмерную информацию, наблюдают движение с высокой степенью разрешения в различных частотах спектра, строятся гигантские экраны, которые окружают человека со всех сторон. И естественно возникает вопрос, а, может быть, весь окружающий людей мир – это гигантский многомерный экран? Каким суперкомпьютером этот экран управляется? Возникает следующая картина мира – люди со всеми своими инструментами – телескопами, микроскопами, ускорителями и пр. – окружены гигантским многомерным экраном, и всеми инструментами изучают не более чем свойства этого экрана,

который управляется внешним суперкомпьютером. Это и есть компьютеризм. Как доказать или опровергнуть это предположение?

В свое время Тьюринг придумал тест, как распознать, с кем человек беседует через компьютер – с другим человеком или компьютером. В наше время необходимо придумать другой тест, чтобы распознать, что нас окружает – гигантский многомерный экран, управляемый внешним суперкомпьютером, или нас окружает то, что мы привыкли называть реальным миром.

В настоящее время астрофизики открыли так называемую темную энергию и темную материю, которые по количеству составляют примерно 95% от массы и энергии Вселенной, и результаты современной науки базируются на изучении лишь 5% массы и энергии Вселенной. Этот факт и различные факты из других областей знания заставляют сомневаться в полученных результатах.

Компьютеризм может рассматриваться как альтернатива сложившейся картине мира и нуждается в серьезных многоплановых исследованиях.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные этапы эволюции элементной базы вычислительной техники?
2. Что такое нейрокомпьютинг?
3. Чем отличается квантовый компьютер от ЭВМ?
4. Закон Мура.
5. Каковы основные этапы эволюции уровня знаний ЭВМ?
6. Каковы основные этапы эволюции интерфейса общения человека с ЭВМ?
7. Чем отличается естественный язык от искусственных алгоритмических языков?
8. Каковы основные этапы эволюции устройств ввода-вывода?
9. Каковы перспективы систем речевого общения человека с ЭВМ?
10. Каковы основные этапы эволюции операционной среды?
11. Каковы основные этапы эволюции систем коммуникации?
12. Чем отличается письменность от устной речи?
13. Что такое кластер?
14. Параллельные машины.
15. Смысл закона Амдала.
16. Каковы характерные черты фон-неймановских машин?
17. Особенности рекурсивных машин.
18. Как поставить решающий эксперимент по проверке гипотезы о том, является ли Вселенная моделью внутри большого суперкомпьютера?

ГЛАВА 5. МИРЫ РЕАЛЬНЫЕ И ВИРТУАЛЬНЫЕ

У каждого человека есть свое представление о мире, которое сложилось на основе невербальной и вербальной информации. Это представление о мире и есть виртуальный мир конкретного человека, который непрерывно дополняется и модифицируется. У другого человека складывается другое представление о мире, другой виртуальный мир. Эти миры частично пересекаются, но никогда полностью не совпадают, так как люди отличаются друг от друга и имеют различный жизненный опыт. В компьютерах ВС тоже хранятся изображения, звуки, слова, которые составляют компьютерный виртуальный мир. Компьютерные виртуальные миры пересекаются по содержанию с человеческими виртуальными мирами, это пересечение позволяет им совместно общаться и работать. Для того чтобы человек мог жить и работать в реальном мире, его виртуальный мир должен отражать существенные черты мира реального, иначе он бы не смог ориентироваться в мире реальном, т. е. виртуальный мир должен быть таким, чтобы в нем были представлены все существенные элементы мира реального. Могут быть различные предложения по структуре эгоцентричного мира человека. Мы предлагаем в качестве его главных элементов взять следующие семь.

1. Население. Ребенок после рождения знакомится прежде всего со своей матерью (импринтинг), потом с другими людьми, которые характеризуются своим здоровьем, генетикой, образованием, занятостью и т. д. В мире формируется информационное общество, островки компьютеризации объединяются в виртуальные миры. Возникли виртуальные миры финансовых банков, здравоохранения, различных производств, возникли виртуальные предприятия в торговле, на транспорте, в образовании. Важной составляющей этих миров является их население – агенты, которые являются аппаратно-программными комплексами и выполняют задания своих принципалов – людей, являясь их помощниками и представителями в различных структурах. Агенты объединяются в многоагентные системы. Агенты (иногда их называют аватарами) могут иметь тот или иной облик на дисплее и голос, в зависимости от желания принципала, но самое главное – их функции в том или ином виртуальном мире. Набор этих функций должен быть таким, чтобы агент мог взаимодействовать как с принципалом, так и с другими агентами в конкретном виртуальном мире, добиваясь выполнения задач, поставленных принципалом. Например, в финансовом мире

принципал может поручить своему агенту управлять деньгами на своем банковском счете таким образом, чтобы увеличить прибыль, рискуя в заданных рамках. Агент должен поддерживать образовательный процесс начиная со школы, и каждый ученик, заканчивая школу, должен уносить диск со своим агентом, который должен помнить все, чему учили в школе, с тем, чтобы помочь выпускнику школы в дальнейшей жизни. Внедрение многоагентной технологии и формирование виртуальных миров существенным образом скажется на социальной структуре общества.

2. **Пассионарность, устремления людей.** Мать стремится защитить своего ребенка. Становясь взрослым, человек по-разному проявляет свою волю. Ради идеи люди жертвуют своей жизнью.

3. **Территория.** По мере развития ребенка эта территория расширяется – от детской кроватки через освоение комнаты, квартиры, двора, школы, города вплоть до освоения территории всей планеты.

4. **Производство,** это то, что может делать человек – сначала по обслуживанию самого себя (личная гигиена), а потом других людей – проектировать и производить машины, учить, лечить и т. п. Для производства человек использует различные предметы, артефакты – от соски, бутылочки с молоком и горшочка, через компьютер до автомобиля и т. д. Самый главный артефакт – естественный язык.

5. **Экология и безопасность,** которая опирается на врожденные инстинкты самосохранения.

6. **Финансы,** средства эквивалентного обмена, банки, биржи, виртуальные деньги.

7. **Внешние связи,** входящие и выходящие потоки энергии, товаров, информации, услуг. Деление на своих и чужих, обмен и обмен и т. д.

Такова предлагаемая нами структура виртуального мира человека, от структуры семьи, через структуру предприятия, города до структуры планеты; каждый из этих блоков может быть расширен.

5.1. Многоагентные обучающие системы – современный подход к образованию

В данном подразделе будут рассмотрены современные подходы к образованию и перспективные методы организации образовательного процесса – компьютеризация, дистанционное и открытое образование. В частности, особое внимание будет уделено психологи-

ческим аспектам (индивидуализация образования за счет внедрения адаптивных систем, мотивация обучаемого) и использованию технологии многоагентных систем в образовании [68].

С компьютеризацией связывают революцию в образовании, но в настоящее время, несмотря на большие вложения в приобретение компьютеров для школ, никакой революции не произошло. Это можно объяснить тем, что не произошло изменений в структуре знаний. Знания делятся на концептуальные, фактуальные и алгоритмические.

В настоящее время концептуальные знания составляют в учебном процессе 20%, фактуальные – 60%, алгоритмические – 20%. Это соотношение закреплено в действующих образовательных стандартах. Применение компьютеров может изменить это соотношение, прежде всего за счет использования банков данных и поисковых систем. В результате в структуре знаний может сложиться соотношение: концептуальные знания – 30%, фактуальные знания – 40%, алгоритмические знания – 30%. Если эти соотношения будут соблюдаться во всех школьных предметах и будут закреплены в новых стандартах, то это и будет означать повышение эффективности применения компьютеров в образовании.

В процессе обучения учащихся особенно важным является вопрос мотивации. Наличие мотивации к обучению дает положительные результаты как в обычной школе, так и при дистанционном обучении. Все рассуждения о возможности индивидуального обучения посредством высокоинтеллектуальных обучающих систем совершенно беспочвенны в случае отсутствия заинтересованности. Механическое принуждение не даст ровным счетом никаких результатов, а отсутствие живого общения еще более усугубит результаты. Необходимо направить систему на достижение максимальной возможности воздействовать на учащегося, его стремление и желание обучаться. Эти приемы необходимо почерпнуть из реальной жизни, из сложившихся систем, принять на вооружение методы педагогики и психологии, в первую очередь затрагивающей вопрос о воспитании детей.

Мотивация к обучению естественна для человека, так как она является основой для выживания и существования человека в окружающей среде. Если она отсутствует, то вызвана какими-то отклонениями.

Первичное побуждение к учению – удовлетворение любопытства. Мотивация связана с психологическими и возрастными особенностями детей. На начальном уровне мотивацией является

стремление заслужить похвалу от взрослых, в первую очередь от родителей. В начальной школе – заслужить авторитет у сверстников. В средней школе – осознанное стремление учиться ради самоусовершенствования. По теории Выгодского, развитие мотивации предполагает наличие четырех составляющих: коммуникативной, справочной, обобщающей и саморегулирующей функций у учащихся. Но даже при наличии этих составляющих мы не можем говорить о достаточном развитии мотивации к обучению, если не выясним механизмы, которые способствуют ее становлению и развитию. Для того чтобы разобраться в этом вопросе, необходимо определиться с самыми базовыми понятиями – раскрыть, что из себя представляет направленность личности, так как это непосредственно связано с вопросом мотивации.

Направленность личности – это система побуждений, определяющая избирательность отношений и активность человека. Она имеет определенные формы и характеризуется некоторыми качествами.

– Уровень – это общественная значимость направленности человека. В общественной направленности человека проявляется его моральный облик. Высокий уровень общественной направленности называют идейностью личности.

– Широта направленности – количество интересов. Широкая направленность – явление полезное, однако при этом существует опасность дилетантства, т. е. разбросанности, отсутствие глубоких устойчивых знаний в определенной области. Дилетант судит обо всем, но поверхностно, неквалифицированно и чаще всего неверно. Широкая направленность предполагает наличие одного центрального, главного интереса.

– Интенсивность – эмоциональная окраска направленности. Имеет большой диапазон выраженности: от смутных, нечетких влечений до полной убежденности.

– Устойчивость – характеристика направленности во времени. В первую очередь это качество связано с настойчивостью как проявлением воли.

– Действенность – активность человека в реализации целей в деятельности.

Кратко охарактеризуем формы направленности.

– Влечение – малодифференцированное, смутное стремление, направленное на какой-либо предмет или действие и движимое той или иной маловыраженной потребностью.

– Желание – более высокая форма направленности, при которой человек осознает то, к чему стремится.

– Интерес – еще более высокая форма направленности на предмет, но являющаяся только стремлением к его познанию.

– Склонность – стремление к определенной деятельности.

– Идеал – форма направленности, воплощенная в конкретном образе, на который человек хочет быть похожим.

– Мировоззрение – система взглядов, представлений и понятий о мире, его закономерностях, об окружающих человека явлениях, природе, обществе. В противоположность активному, существует пассивное мировоззрение, которое называется мирозерцанием.

– Убеждения – высшая форма направленности личности. Это сочетание мировоззрения, мышления и воли, проявляющееся в поступках человека.

– Мировоззрение и убеждения человека определяют его моральные качества.

– Мораль – понятие, обобщающее в общественном и индивидуальном сознании нравственные явления. Моральные свойства личности, моральные убеждения, моральные чувства отражают нравственные нормы и одновременно регулируют нравственные поступки данной личности. Моральные качества отчетливо проявляются в совести личности.

– Совесть – нравственная самооценка человеком своих поступков. Принято различать бессовестных и безнравственных людей. Бессовестный – человек, знающий нравственные нормы общества, считающий их правильными, но только для других, а не для себя. В отличие от бессовестного, безнравственный человек не считает эти нормы обязательными ни для себя, ни для других, хотя может их знать.

В связи с направленностью личности очень важным является вопрос о том, что заставляет человека реализовать себя, свою направленность, быть деятельным, т. е. что является причиной, источником активности личности.

Источником активности личности являются ее потребности. Именно потребности побуждают человека действовать определенным образом и в определенном направлении. Потребность – это состояние человека, выражающее его зависимость от конкретных условий существования.

Существуют принципиальные различия в потребностях животных и человека. Потребности животного предопределены его орга-

низациями и инстинктами. Потребности человека формируются в процессе его воспитания. Удовлетворение потребностей выступает как активный, целенаправленный процесс овладения формой деятельности, определяемой общественным развитием.

Потребности человека носят *общественно-личный характер*. Это обусловлено следующими положениями.

Даже для удовлетворения узколичных потребностей (пища) человек использует результаты общественного разделения труда (хлеб).

Человек удовлетворяет потребности исторически сложившимися в данном обществе способами и приемами.

Многие потребности человека отражают запросы общества, группы.

По происхождению потребности бывают естественные и культурные.

Естественные, или биологические, потребности служат для сохранения и поддержания жизни человека. Это пища, питье, сон и т. д. Хотя естественные потребности человека те же, что и у животных, однако по своей психологической сущности они коренным образом отличаются. С появлением человека изменились способы и орудия их удовлетворения, кроме того, сами потребности претерпели качественные изменения.

Культурные потребности – потребности человека в продуктах человеческой культуры. К ним относятся предметы, которые служат человеку в повседневной жизни (ложка, вилка), а также все, что необходимо для трудового и культурного общения с другими людьми (книги, театр, кино, телевидение, газеты).

По характеру предмета потребности могут быть *материальными и духовными*.

Материальные потребности – потребности в предметах материальной культуры (пища, одежда).

Духовные потребности – потребности в продуктах общественного сознания. К ним относятся познавательные, моральные, эстетические, творческие потребности. Особое место занимает потребность в общении с другими людьми.

С потребностями тесно связаны мотивы – конкретные побуждения к деятельности. Мотивами могут быть конкретные проявления потребностей: влечения, желания, интересы, склонности, идеалы, мировоззрения, убеждения. Мотивами могут быть и побуждения другого рода. Например, ученик готовит уроки. При этом мотивы могут быть разные: желание порадовать родителей хорошей отмет-

кой; желание понравиться учительнице; необходимость избежать двойки в четверти; потребность в приобретении знаний – познавательная потребность.

Мотивы отличаются видом потребности, которая в них проявляется, формами, которые они принимают, шириной или узостью, содержанием деятельности, в которой они реализуются. Сложные виды деятельности, как правило, отвечают не одному, а нескольким одновременно действующим и взаимозаменяющим мотивам. Образуется, как говорят, система мотивации действий и поступков.

Принято выделять *побудительные* и *смыслообразующие* мотивы. Первые являются основанием целенаправленных действий, а вторые переводят общественно фиксированные значения ценностей на личностный уровень.

Мотивы бывают также *осознанными* и *неосознанными*. Следует отметить, что они взаимосвязаны и обусловлены общественно-историческими условиями развития личности. Ведущая роль в мотивации поведения принадлежит осознанным побуждениям.

Особую группу неосознанных побуждений тех или иных поступков человека составляют установки. Установка – внутренняя predisposition реагировать определенным образом на тот или иной объект действительности или ситуацию, побуждая человека ориентировать свою деятельность в определенном направлении.

Когда анализируется деятельность личности в социуме, важным является знание и учет *социальной установки* – predispositionности индивида или группы определенным образом реагировать на те или иные явления социальной действительности. Это относительно устойчивая во времени система взглядов, представлений об объекте или событиях, совокупность связанных с ними эмоциональных состояний, predisposing к определенным действиям.

Социальная установка – сложное психологическое образование, имеющее в своей структуре три компонента: когнитивный, эмоциональный и поведенческий. Когнитивный компонент составляет знания об объекте, оценочные суждения и убеждения. Эмоциональный компонент включает систему чувств, связанных у человека с соответствующим объектом или событием. Поведенческий компонент – это predisposition к реальным, положительным или отрицательным, действиям в отношении объекта. Каждый из этих компонентов может быть измерен независимо от остальных при помощи специальных измерительных шкал, опросников и оценен в результате наблюдения за действиями человека в определенной ситуации.

Известный американский психолог А. Маслоу сформулировал позитивную теорию мотивации, при построении которой были учтены эмпирические данные, полученные как клиническим, так и экспериментальным путем. В рамках своей теории Маслоу выделяет 5 базовых потребностей: 1) физиологические; 2) безопасности; 3) в принадлежности и любви; 4) в признании; 5) в самоактуализации (реализации потенциала).

Кроме того, в этой теории выделяются еще две потребности, фундаментальные: потребность познания и понимания, а также эстетические потребности. Для становления мотивации к обучению у учащихся необходимо удовлетворение всех потребностей. При отсутствии одного из параметров выстроенной А. Маслоу пирамиды сложно решить вопрос мотивации.

Хотелось бы остановиться на конкретных примерах педагогической практики, когда центральным объектом является мотивация. По теории профессора Ю. Б. Гиппенрейтер, существует несколько механизмов становления мотивации.

Механизм «сдвига мотива на цель». Процесс кристаллизации можно представить себе как процесс выпадения положительных эмоций на предмет или цель деятельности. Если процесс накопления положительных эмоций вокруг данного предмета идет достаточно интенсивно, то наступает момент, когда он (этот предмет) *превращается в мотив*. Превращение цели в мотив может произойти, только если накапливаются положительные эмоции. Например, хорошо известно, что одними наказаниями и принуждениями любовь или интерес к делу привить невозможно. Предмет не может стать мотивом по заказу даже при очень большом желании. Он должен пройти длительный период аккумуляции положительных эмоций. Эмоции выступают в роли своеобразных связей, которые соединяют данный предмет с системой существующих мотивов, пока новый созданный мотив не войдет в эту систему. При этом важно разобраться в механизмах воздействия на мотивацию.

Эмоциональный механизм. Воспитание личности приносит плоды только в том случае, если оно проходит в правильном эмоциональном тоне. Учителю удастся сочетать требовательность и доброту. Это правило давно интуитивно найдено в педагогической практике.

Ребенок хочет общаться с воспитателем, у него нет никаких непосредственных побуждений к обучению, однако воспитатель добродушно и настойчиво это требует. Требования эти освещены

личностным смыслом, так как связаны с предметом его потребности – контактом с воспитателем. Это положительный смысл, так как общение с воспитателем – радость. Ребенок идет на контакт, чтобы продолжать испытывать радость. На первых парах он выполняет требуемые действия ради общения с воспитателем. Со временем на это действие проецируется все большее количество положительных переживаний, что в конце концов приводит к созданию самостоятельной побудительной силы. В результате тот предмет, который длительно и стойко насыщался положительными эмоциями, превращается в самостоятельный мотив. Цель приобрела статус мотива. Если общение со взрослым идет плохо, безрадостно, то весь механизм не работает, новые мотивы у ребенка не возникают. Рассмотренный механизм действует на всех этапах развития личности. Только с возрастом меняются и усложняются главные мотивы общения. Специальные исследования показывают, что каждому этапу расширения контактов предшествует, а затем его сопровождает мотив принятия другими, признание и утверждение в соответствующей социальной группе. Социальные мотивы порождают новые мотивы, профессиональные, а затем и идеальные.

Механизм идентификации. Не все передается ребенку в форме направленных воспитательных воздействий, большая роль в передаче личностного опыта принадлежит косвенным влияниям через подражание. Соответствующий механизм получил название механизма идентификации. В раннем возрасте дети подражают родителям, этот процесс происходит независимо от сознания ребенка. На более поздних возрастных стадиях расширяется круг лиц, из которых выбирается образец, объект идентификации: предводитель компании, учитель, знакомый взрослый, литературный герой, герой Великой Отечественной войны, известный современник. Наблюдения и специальные исследования показывают, что принятие личностного эталона выполняет чрезвычайно важную психологическую функцию. Большое значение в этом имеет ролевая игра. Обнаружено, что те дети, которые в дошкольном возрасте мало играли в ролевые игры и тем самым мало воспроизводили поведение взрослых, хуже адаптируются к социальным условиям.

О субъективной важности авторитета подражания говорит тот факт, что его утрата или разочарование в нем сопровождаются острыми переживаниями. В спокойных случаях рано или поздно наступает момент, когда образец теряет для личности свою притягательность и субъективную значимость. Это вполне естественно:

развивающаяся личность восприняла от образца нечто очень важное и нужное, но у нее свой путь.

Механизм принятия и освоение социальных ролей отличается от предыдущего большей обобщенностью и отсутствием персонализации осваиваемого эталона. В психологии его раскрывают с помощью понятий «социальная позиция» и «социальная роль». Социальная позиция – функциональное место, которое может занять человек по отношению к другим людям, которое характеризуется совокупностью прав и обязанностей. Оба понятия позволяют структурно расчленивать социальную среду и описать нормативную систему действий. Набор социальных позиций и ролей очень широк и разнообразен. В ходе освоения и выполнения ролей появляются новые мотивы.

Способ преподнесения материала, атмосфера, звуковое и визуальное сопровождение, визуализация персонажа – персонального ассистента или преподавателя, инсценировки некоторых событий должны быть адаптированы под конкретного обучаемого, под образ, представляемый обучающей системой.

При диагностике мотивации успеха и мотивации боязни неудачи оптимальным методом оказывается наблюдение за поведением и деятельностью ученика в различных жизненных и учебных ситуациях. В арсенале современной психодиагностики имеется множество специальных методик, позволяющих диагностировать рассматриваемые типы мотивации личности. Разработка качественных методик в целом представляет собой весьма сложную задачу. Мотивы деятельности и поведения составляют зону, сознательно или подсознательно оберегаемую самой личностью от постороннего проникновения. Поэтому мотивационная сфера личности обычно изучается с помощью сложных методик проективного типа. Наряду с проективными методиками для измерения мотиваций применяются и другие – тестовые опросники: опросник ТМД А. Мехрабиана (в том числе в модификации М. Ш. Магомед-Эминова), опросник МУН А. Реана.

При разработке обучающей системы следует создавать необходимые условия для развития мотивации к обучению у учащихся: доступный способ преподнесения материала, положительную психологическую атмосферу, комфортное звуковое и интригующее визуальное сопровождение, визуализацию персонажа, достойного подражания, ассистента или преподавателя, инсценировки некоторых событий.

5.2. Открытое образование

Открытое образование (ОО) – система организационных, педагогических и информационных технологий, в которой архитектурными и структурными решениями обеспечиваются открытые стандарты на интерфейсы, форматы и протоколы обмена информацией в целях обеспечения мобильности, стабильности, эффективности и других положительных качеств, достигаемых при создании открытых систем.

Открытая модель образования – результат исторического эволюционного пути развития и становления информационной цивилизации, как неотъемлемой ее части, не зависит от политики государства в области образования.

Цель ОО – подготовка обучаемых к полноценному и эффективному участию в общественной и профессиональной областях в условиях информационного общества.

Принципы и особенности ОО:

- бесконкурсное поступление в высшее учебное заведение;
- открытое планирование обучения – свобода составления индивидуальной программы обучения путем выбора из системы курсов;
- свобода выбора времени и темпа обучения – прием студентов в вуз в течение всего года, отсутствие фиксированных сроков обучения;
- свобода в выборе места обучения – студенты могут физически отсутствовать в учебных аудиториях основную часть учебного времени, могут самостоятельно выбирать, где обучаться;
- переход от принципа «образование на всю жизнь» к принципу «образование через всю жизнь»;
- переход от движения обучающегося к знаниям к обратному процессу – знания доставляются человеку;
- использование специализированных технологий и средств обучения: применение компьютеров, сетевых средств, мультимедиа – технологий, специализированного ПО для подготовки учебных курсов и обучения студентов;
- тестовый контроль качества знаний – использование тестовых систем на базе компьютерных технологий;
- экономическая эффективность – улучшение соотношения достигнутого результата к затратам времени, денег и других ресурсов на его достижение по сравнению с традиционными формами обучения;

- параллельность – возможность обучения при совмещении с основной профессиональной деятельностью;
- асинхронность – обучение по удобному для каждого обучаемого расписанию;
- новая роль преподавателя – возложение на него функции координирования познавательного процесса, корректировки содержания дисциплины, консультирования при составлении индивидуального учебного плана, руководства учебными проектами с помощью компьютерных и сетевых технологий;
- новая роль обучающегося – повышение требований по самоорганизации, мотивированности, навыкам самостоятельной работы и трудолюбию;
- интернациональность – возможность экспорта и импорта образовательных услуг.

Свободное развитие индивидуальности – основополагающий фактор ОО. Классическая модель образования предполагает жесткие нормы, унифицирующие человеческую индивидуальность.

Система ОО функционально включает следующие подсистемы:

- управление учебным процессом – создание учебных планов, расписаний, учебно-методического обеспечения курсов, контроль знаний;
- административно-управленческую – управление ресурсами, коллективами, проектами, контактами, ведение баз данных (БД) приказов и распоряжений;
- техническую – офисное и телекоммуникационное оборудование, издательство, складские помещения, учебные и консультационные аудитории, мультимедиа-лаборатория и др.;
- кадровую – формирование и ведение личных дел преподавателей, сотрудников, студентов;
- финансовую – ведение бухгалтерского учета, сопровождение проектов и договоров;
- маркетинговую – выявление потребностей в образовании, ведение рекламной деятельности, формирование БД заказов на подготовку специалистов;
- правовую – юридическое обеспечение договорной деятельности института, ведение нормативных документов и актов;
- информационную:
 - сбор, накопление и систематизация в БД информации о потребностях рынка труда, сферы производственной деятельности и образования;

накопление в БД перечня образовательных продуктов и услуг (учебников, систем тестирования) с обеспечением доступа через Интернет;

сбор и обработка оперативных данных из региональных учебных центров: о ходе учебного процесса (приема слушателей, прохождении тестирования, сертификации обучаемых), об их потребностях в обеспечении учебно-методическими материалами и разработке новых учебных программ и курсов;

информационное обеспечение проведения занятий и консультаций из центра ОО, информационная поддержка тестовых дистанционных испытаний;

предоставление данных по оперативному учету и ходу учебного процесса в режиме он-лайн и через локальную сеть центра обучения;

– научных исследований – научная поддержка эффективного функционирования всех элементов системы ОО:

анализ и обобщение опыта функционирования отечественных и зарубежных систем ОО для коррекции образовательного процесса;

исследование фундаментальных дидактических проблем ОО; опытно-экспериментальная работа, направленная на повышение эффективности учебного процесса ОО;

организация и проведение совместных НИР и опытно-экспериментальной работы по проблематике ОО;

поисковые исследования;

– международных отношений – экспорт-импорт образовательных услуг, развитие партнерских отношений с зарубежными заведениями (практика «двойного диплома»), организация стажировки слушателей системы ОО и другие функции.

Виды обеспечения системы ОО:

– программное – операционные системы, сетевые системные программы, прикладные инструментальные среды;

– техническое – компьютерное и сетевое оборудование, необходимое для реализации ОО;

– информационное – конспекты лекций, учебники, пособия и другие методические материалы на бумажных и электронных носителях, справочники, различные БД по методическим материалам, оперативным данным, кадрам;

– методическое – тесты, методики, рекомендации по технологии обучения с учетом дидактических и психологических аспектов;

– организационное – возможные формы организации учебного процесса ОО, требования к учебным заведениям, осуществляющим ОО;

– нормативно-правовое – нормы и правила, документы Министерства образования РФ и внутренние нормативные документы организаций, осуществляющих ОО, регламентирующие подготовку и проведение учебного процесса на основе технологии ОО;

– лингвистическое – набор языковых средств для общения преподавателей, студентов и управленческого состава с программными средствами ОО.

В работающих системах ОО применяются следующие формы взаимодействия студентов, преподавателей и администрации учебного заведения: традиционная почта, факс, компьютерные технологии, видео-аудиоконференции, интернет-системы.

В образовательном процессе ОО могут быть использованы следующие средства обучения:

- печатные и электронные учебные пособия;
- компьютерные обучающие системы в мультимедийном варианте; аудио- и видео-учебно-информационные материалы;
- лабораторные дистанционные практикумы;
- тренажеры;
- БД и знаний с удаленным доступом;
- электронные библиотеки с удаленным доступом;
- дидактические материалы на основе экспертных обучающих геоинформационных систем.

5.3. Дистанционное обучение

Дистанционное обучение (ДО), которое называют технологией обучения XXI в., базируется на ОО (свобода места, времени и формы обучения), компьютерных обучающих программах, современных информационных технологиях и обеспечивает качество подготовки специалистов вследствие высокого уровня мотивации каждой составляющей. В настоящее время эта форма обучения очень активно развивается в Европе и России (свыше 100 вузов ведет подготовку специалистов по этой технологии). Одной из главных задач развития ДО является кадровое обеспечение.

Основу образовательного процесса при ДО составляет целенаправленная и контролируемая интенсивная самостоятельная рабо-

та обучаемого, который может учиться в удобном для себя месте, по индивидуальному расписанию, имея при себе комплект специальных средств обучения и согласованную возможность контакта с преподавателем по телефону, электронной и обычной почте.

Характерной особенностью ДО является наличие преподавателей-методистов, ответственных за разработку учебных курсов, и тьюторов, непосредственно отвечающих за процесс обучения. Естественно, что система подготовки их к работе в области ДО различна.

Основная задача преподавателя-методиста, специалиста высокой квалификации в своей области – создание образовательной среды в Интернете и необходимых методических материалов к ней. Для решения этой задачи преподаватель должен уметь разрабатывать сценарий компьютерной обучающей программы, создавать свою технологию ДО, активно работать в Интернете и знать координаты серверов, на которых размещена информация по данной дисциплине, поддерживать контакты со своими коллегами.

Тьюторы выполняют три основные функции в ДО:

- преподавателя (проведение вводного и заключительного занятий, семинаров, обеспечение правильного и эффективного использования учебно-методического сопровождения курса, оказание помощи слушателям в их профессиональном самоопределении);
- консультанта (координация познавательного процесса слушателей, проведение групповых и индивидуальных консультаций слушателей по различным вопросам изучаемого курса);
- менеджера (набор и формирование групп слушателей, составление графика учебного процесса, управление проведением групповых занятий, контроль выполнения слушателями графика учебного процесса).

Ранее ДО означало заочное обучение. Сейчас это средство обучения, использующее кейс-, ТВ- и сетевые технологии обучения, далее будем называть его системой дистанционного обучения (СДО):

- кейс-технологии основаны на комплектовании наборов (кейсов) текстовых учебно-методических материалов и рассылке их обучающимся для самостоятельного изучения (с консультациями у преподавателей-консультантов в региональных центрах (РЦ));
- ТВ-технологии базируются на использовании эфирных, кабельных и космических систем телевидения;
- сетевые технологии базируются на использовании Интернета как для обеспечения студентов учебно-методическим материалом,

так и для интерактивного взаимодействия между преподавателями и обучаемыми.

Категории пользователей СДО.

Администратор СДО регистрирует пользователей в системе, формирует учебные группы и курсы, набирает учащихся, преподавателей, тьюторов и экзаменаторов; создает резервные копии курсов и текущего состояния системы.

Преподаватель (разработчик курса, дизайнер курса) создает материалы курса и ведет процесс обучения, организуя и проводя занятия, тесты и обсуждения.

Учащиеся проходят обучение на курсах, предоставляемых СДО: изучают материалы курсов, участвуют в коммуникациях, проходят тесты, сдают зачеты и экзамены.

Экзаменатор проверяет результаты прохождения тестов учащимися и корректирует автоматически выставляемые системой оценки.

Тьютор – помощник-ассистент преподавателя – консультирует учащихся, координирует направление и тематику дискуссий.

Гостевые пользователи проходят пробное обучение на курсах СДО с целью ознакомиться с возможностями, предоставляемыми СДО; обладают правами учащихся. Гостевая регистрация предоставляется всем посетителям сайта СДО.

Менеджер СДО проводит финансовые расчеты и отвечает за взаимодействие с организацией-клиентом, направляющим слушателей на обучение курсам, предоставляемым СДО.

Куратор учебной группы отвечает за функционирование учебной группы. К нему могут обращаться учащиеся группы по всем организационным вопросам.

Основные объекты СДО.

Учебные группы – объединения некоторого количества учащихся и тех курсов СДО, которые эти учащиеся изучают.

Договора на обучение фиксируют юридические стороны подписанных соглашений между СДО и организациями-клиентами, направляющими слушателей на обучение. Содержат список слушателей, направляемых на обучение, список курсов, на которых они будут обучаться, и информацию об условиях и суммах выплат за обучение.

Заявки на обучение аналогичны договорам на обучение, но предназначены для заполнения посредством Интернета удаленными посетителями, желающими пройти обучение на курсах СДО.

Направления обучения – каждый курс в СДО может относиться к тому или иному направлению обучения. Любой пользователь СДО также может указать список интересующих его направлений обучения.

Виртуальный университет – образовательная структура, осуществляющая принципы ОО, может не иметь атрибутов традиционных учебных заведений: «физических» зданий, классов, лабораторий и студенческих общежитий. Обучение может проводиться как традиционными методами, так и через компьютерные сети. Как правило, структура такого учебного заведения двухуровневая и состоит из центрального университета и РЦ.

Центральный университет – учебное заведение, осуществляющее административную, учебно-методическую, информационную, техническую и правовую координацию работ региональных образовательных структур.

Региональный центр – учебное заведение, осуществляющее полный цикл образовательного процесса.

Сетевой курс (курсы СДО) – собственно учебные курсы, которые могут изучать пользователи СДО – информационно-программная система, доступ к которой осуществляется через локальные и глобальные сети. В основе сетевого курса лежит информация о предметной области и инструментарий для ее изучения.

Специфика сетевых курсов:

- лучшее восприятие учебного материала;
- сокращение времени на изучение учебного материала;
- унификация структуры и формы представления учебного материала;
- легкость обновление учебного материала;
- модульность сетевых учебных курсов и программ;
- комфортность сетевого обучения;
- снижение стоимости обучения студентов;
- современность сетевых курсов;
- повышение качества образования студентов (достигается за счет того, что сетевые курсы создаются экспертом в данной области, использующим многочисленные гипертекстовые ссылки на лучшие информационные источники в заданной прикладной области, что ведет к повышению качества образования студентов);
- доступность;
- получение навыков работы с представителями различных культур и разных языков общения.

5.4. Виртуальные образовательные среды

Виртуальные образовательные среды первого поколения.

Виртуальные образовательные среды (ВОС) первого поколения стали появляться сразу после появления WWW в 1992 г. Они позволили спроектировать, разработать и использовать первые достаточно простые сетевые или он-лайн курсы. Эти системы, как правило, представляли собой некоторый набор разрозненных компонентов, каждый из которых выполнял ту или иную отдельно взятую функцию [1, 68, 73]. Типовыми компонентами и средствами ВОС первого поколения являются:

- электронная почта и программы автоматической рассылки сообщений;
- статические web-страницы;
- web-браузеры (Netscape Navigator и Microsoft Internet Explorer);
- средства для проведения конференций и обмена текстовыми сообщениями;
- средства структурированного хранения он-лайн файлов различного назначения;
- средства для проведения примитивных аудио- и видеоконференций.

Существенным недостатком ВОС первого поколения является отсутствие какой-либо интеграции и взаимодействия между их отдельными компонентами. В связи с этим он-лайн курсы, которые были созданы с использованием этих систем, по сути дела представляли собой несколько модернизированную форму традиционного обучения по переписке, но не принципиально новую технологию обучения на основе Интернета.

Виртуальные образовательные среды второго поколения.

Примерно с конца 1996 г. на рынке программных продуктов стали появляться ВОС второго поколения, которые в настоящее время представляют собой мощные средства по созданию он-лайн курсов и их изучению. Они предоставляют разработчикам и пользователям (обучаемым) он-лайн курсов многочисленные функции, которые, в общем случае, можно разделить на несколько категорий:

- планирования и администрирования;
- поддержки создания учебных материалов и учебных заданий;
- тестирования и оценки знаний студентов или слушателей;
- коммуникаций и пр.

Принцип построения ВОС второго поколения базируется на автоматической генерации сервером активных web-страниц в соответствии с информацией, заложенной в БД о пользователях. Такой подход позволяет настраивать подобные системы в предельном варианте на каждого конкретного пользователя.

Виртуальные образовательные среды третьего поколения.

При всех достоинствах ВОС второго поколения обладают и рядом недостатков, связанных с неполным использованием коммуникационных и мультимедийных технологий, технологий совместной разработки проектов на базе Интернета и средств интеллектуализации и визуализации процесса обучения и преподавания.

Отличительной особенностью ВОС третьего поколения является самое активное применение компьютерных аудио- и видеоконференций или интернет-телефонии различных типов, одновременная работа группы студентов над единым проектом или документом, распределенным в Интернете.

Виртуальные образовательные среды четвертого поколения.

Сейчас они находятся в самой начальной фазе своего планирования и разработки прототипов. Основным лейтмотивом систем этого поколения является их:

- интеллектуализация;
- адаптация учебного плана к запросам конкретного пользователя;
- ориентирование на новую парадигму образования, в центре которой стоит обучаемый и глобальные образовательные ресурсы;
- новизна в преподавании и обучении, основанная на возможностях Интернета.

В настоящее время уже существует ряд технологий, на базе которых предполагается строить ВОС четвертого поколения, причем технология мультиагентов является одним из самых перспективных для этого средств.

5.5. Интеллектуальный и программный агенты⁶

Программный агент.

Доминирующим при построении новых ВОС является использование теории искусственного интеллекта и, в частности, тех ее

⁶ В написании этого раздела принимали участие аспиранты ГУАП В. В. Королев и А. А. Кроль.

разделов, которые ориентированы на решение задач совместного обучения в распределенной компьютерной среде. Наиболее признанное определение термина программный агент – это программная система, обладающая по крайней мере четырьмя базовыми свойствами:

- автономностью: агенты функционируют без прямого вмешательства пользователей или программ и обладают определенной способностью контролировать свои действия;

- способностью общения: агенты взаимодействуют с другими агентами (и, возможно, пользователями или программами) посредством какого-либо языка коммуникаций;

- реактивностью: агенты обладают способностью воспринимать среду (которая может быть физическим миром, пользователем, использующим графический интерфейс, коллекцией других агентов, сетью Интернет или, возможно, всем вместе взятым) и адекватно реагировать в определенных временных рамках на происходящие события;

- активностью: агенты не просто реагируют на изменения среды, но и обладают целенаправленным поведением и способностью проявлять инициативу.

С точки зрения распределенных вычислений, агент – это самостоятельный процесс, выполняемый параллельно, имеющий определенное состояние и способный взаимодействовать с другими агентами при помощи сообщений [1, 6, 68]. Каждый агент имеет возможность создания копий самого себя с полной или ограниченной функциональностью, обеспечивая возможность настройки на среду путем исключения неэффективных методов или свойств и замены их новыми более эффективными методами и свойствами. Агент имеет возможность постоянно изменять сценарии поведения без изменения этого сценария в родительском классе.

Интеллектуальный агент.

Это компьютерная система, которая в дополнение к базовым свойствам либо сформулирована, либо реализована с использованием концепций, свойственных человеку. Например, в теории искусственного интеллекта понятие агента часто связывают с такими понятиями, как знания, убеждения, намерения, обязательства.

Агент рассматривается как вычислительный процесс со знаниями относительно ограниченной части предметной области, способный достигать своих целей, взаимодействуя с другими агентами и пользователями.

Мультиагентная система.

Под мультиагентной системой (МАС) будем понимать многокомпонентную систему, состоящую из разнообразных агентов со специфицированным интерфейсом. Вместо больших программ с простыми средствами коммуникации между компонентами в настоящее время все большее развитие получают системы, состоящие из простых стандартных интеллектуальных компонентов (агентов).

Для обеспечения хода обучения в специализированной образовательной МАС должны быть следующие виды агентов:

- агенты-координаторы распределения, функции которых состоят в распределении хода учебного процесса. Эти агенты должны быть целесогласующими или социоморфными;

- агент интерактивного взаимодействия, в задачи которого входит обеспечение взаимодействия агента-координатора распределения, агента-координатора рейтинга, преподавателя и ученика. Он должен быть реактивным или биоморфным агентом;

- агенты обучения, каждый из которых в свою очередь может быть субкоординатором по определенной учебной дисциплине или группе дисциплин;

- агенты тестирования, задачи которых состоят в определении уровня знаний обучаемого;

- агенты-координаторы рейтинга, которые отслеживают результаты тестирования, поступающие от агентов тестирования.

В процессе обучения возникает две задачи: обеспечение учебного процесса и оптимизация. Первая из них формулируется следующим образом. Дано множество предоставляемых системой ОО услуг и задача, которая должна быть решена. Необходимо определить, может ли задача быть решена доступными в настоящее время средствами. При положительном ответе система должна перейти ко второму этапу – определению оптимальной структуры для решения задачи.

Например, в процессе тестирования студента определяется его психо-физиологический тип: визуал, вербал, аудиал, – в соответствии с которым материалы курса обучения представляются или в виде гипертекста, или в виде активных графических схем, или в виде аудиофайлов. Дополнительно предусматривается возможность изменения скорости представления материалов, например определений, в автоматическом режиме в зависимости от индивидуальных настроек.

При описанной структуре возникает проблема адаптации структуры МАС для решения задачи обучения конкретного ученика и ее оптимизация по суммарной стоимости и суммарному времени, затрачиваемым на связь между учителем и учеником. Кооперативное взаимодействие агентов должно быть динамическим и способным к адаптации в зависимости от текущей обстановки. Одному обучаемому на усвоение материала могут потребоваться минуты, а для другого необходим период длительного обучения. Для решения задачи оптимизации можно использовать алгоритмы эволюционного моделирования.

В настоящее время прототипы программных и интеллектуальных агентов уже достаточно широко используются в ВОС, в которых они могут играть роль виртуальных:

- учителей;
- студентов или компаньонов по обучению;
- персональных ассистентов, помогающих студентам в обучении;
- администратора, помогающего в области администрирования и планирования действий обучаемого.

Персональные ассистенты.

Персональные ассистенты (ПА) представляют собой особый класс интеллектуальных агентов, которые функционируют полуавтономно от пользователя и от его имени, представляя его интересы или представляя услуги от имени пользователя другим ассистентам. Агенты-ассистенты помогают обучаемым в процессе изучения учебного материала, обеспечивая персонализацию настройки среды в соответствии с профилем обучаемого.

Функции ПА:

- агент новостей обеспечивает поддержку системы новостей и асинхронного обмена сообщениями между преподавателями и студентами, а также обеспечивает запись всех сообщений, относящихся к данному конкретному пользователю, в его «записную книжку», реализованную в виде отдельного приложения на компьютерном клиенте;
- агент составления расписаний обеспечивает согласование персональных действий пользователя с синхронными мероприятиями в обучающей среде на основе «записной книжки», для чего координирует свою деятельность с агентами других пользователей
- агент поиска на web использует нечеткий вероятностный подход для сортировки и фильтрации web-страниц, найденных тради-

ционными поисковыми серверами для дополнения дидактического материала или выполнения курсовых заданий.

Персональные ассистенты с анимационным и речевым интерфейсом.

С помощью 3D-интерфейса началось активное освоение заэкранного пространства – стали создаваться виртуальные образовательные миры. В этих мирах поселились, как раньше в компьютерных играх, интерфейсные агенты в виде говорящих трехмерных персонажей. Интерфейсных агентов, действующих в образовательных программных средах, называют педагогическими агентами. Исследования показали, что взаимодействие обучаемых с интерфейсными агентами увеличивает мотивацию, активизирует восприятие информации и укрепляет доверие к получаемым сообщениям, а это все в совокупности, в свою очередь, повышает эффективность образовательных программных средств. Существенным является то, что анимированные педагогические агенты делают возможным более точно моделировать те виды диалогов и взаимодействий, которые реально происходят в течение процесса обучения при общении учителя с учениками.

Некоторые агенты персональной помощи обеспечивают интерфейс между пользователем-студентом и компьютером посредством анимированного символа, который может непосредственно управляться пользователем. Этот тип агента обычно известен как агент интерфейса. Агент интерфейса – это любая программа, которая может рассматриваться пользователем как инструмент реализации обычного интерфейса прямой манипуляции.

В современных прототипах ВОС третьего поколения используется два типа анимированных агентов: «говорящая голова» и мультипликационный образ. Особенностью программирования агентов в современных ВОС является возможность их настройки на конкретного пользователя и контекст обучения, другими словами, организации персонализированного обучения.

Система поиска и фильтрации информации.

Одной из ключевых проблем при построении современных ВОС является обеспечение возможности поиска в Интернете и предоставление обучаемому дополнительной информации, не содержащейся в дидактическом материале курса. Существующие системы поиска и фильтрации информации, расположенные в Интернете, как правило, являются низкоэффективными, поскольку генерируют высокий процент лишней иррелевантной информа-

ции. Предлагаемый подход к решению этой проблемы состоит в построении МАС поиска и фильтрации информации. Основная идея данного подхода заключается в разработке агента (агентов), помогающего пользователю отобрать наиболее полезные web-страницы, полученные традиционными поисковыми средствами. Для каждой web-страницы пользователь будет иметь восприятие, которое указывает определенный уровень принятия данной страницы относительно нечеткого свидетельства, сформированного на основе заголовка или резюме страницы. В настоящее время разработаны подобные классификаторы, построенные на основе теории Байеса.

Агенты виртуальной среды.

Агенты этого типа являются резидентными для «виртуального класса» и поддерживают действия, связанные с преподавательской деятельностью и процессом обучения. В отличие от агентов персональной помощи, эти агенты запускаются на сервере и не персонализированы под конкретного пользователя.

Агент «виртуальный компаньон».

Этот агент является разновидностью так называемых диалоговых агентов, известных также как «chatterbots». Идея использовать chatterbots заключается в попытке создания интерфейса на естественном языке между обучаемым и ВОС, что в целом является открытой проблемой в искусственном интеллекте. Существуют различные подходы:

- подключение внешней базы знаний и механизма логического вывода;
- поиск по ключевым словам;
- использование специальных моделей для ведения диалога.

Для применения подобных моделей необходимо обеспечить агента знанием контекста диалога, что достигается путем использования сети диалоговых переходов в рамках решения специфической проблемы.

Модели агентов «виртуальных компаньонов» строятся на основе BDI-архитектуры. Агенты «виртуальные компаньоны» могут отличаться как по уровню экспертизы (знаний), так и по той роли, которую они играют в группе. Например, «сильные» компаньоны могут принимать на себя роль лидеров в виртуальной группе обучаемых, развивая и объясняя решение проблемы; «слабый» компаньон может быть использован для того, чтобы стимулировать и поощрять обучаемых в ВОС.

Агент мониторинга группы.

Каждая виртуальная группа имеет связанного с ней агента мониторинга группы. Он поддерживает разделяемую модель знаний группы и сравнивает ее состояние с текущим состоянием решения проблемы, которое содержит цели, концепции, действия и т. д. Это состояние характеризует группу. Группа имеет различные сценарии работы, каждый из которых характеризуется своей целью, общей для всех членов группы. Эта цель соответствует концепции разделяемых намерений.

Агент-планировщик.

Этот агент предлагает студенту индивидуальный план согласно его академическому плану, интересам, текущей успеваемости, способностям и, в случае необходимости, имеет возможность изменить программу обучения. На следующем этапе ВОС генерирует персонализированные книги, называемые мультикнигами, связывая отобранные модули дидактического материала с траекторией обучения студента для каждой области знаний. По такому же принципу могут быть организованы группы виртуальных студентов со схожими интересами (траекториями) для организации электронных дискуссий. Процесс обучения планируется в соответствии с желаемым временным графиком обучения.

Существующие ограничения.

Ограничения могут быть разделены на две категории: локальные и глобальные. Глобальные ограничения – это обычно временные ограничения, например время, имеющееся в распоряжении студента, чтобы изучить материал по тому или иному курсу. Локальные ограничения могут включать: число студентов, одновременно изучающих один и тот же материал; допустимое число студентов в виртуальной группе; доступные технические ресурсы и т. д. Общий домен (область) имеет специальный тип ограничений – каждый фрагмент плана должен выполнить начальные условия студента. Отдельный агент-планировщик не может выбирать любой фрагмент плана, который удовлетворяет набору локальных ограничений; выбранный фрагмент должен быть совместим с фрагментами плана, выбранными другими агентами.

Перспективные технологии.

Одной из ключевых проблем построения ВОС является проблема разработки модулей электронного дидактического материала (МДМ). Изначально одной из принципиальных черт МДМ было широкое использование мультимедийных средств для обогащения форм представления знаний о предметной области, что получило свое раз-

витие в массовом производстве учебных компакт-дисков (CD ROM). Однако с появлением Интернета и программных средств WWW первые web-ориентированные образовательные среды практически отказались от использования всех наработок индустрии производства мультимедийных МДМ. Вдохновленные доступностью учебных материалов, размещенных на web, их разработчики стали помещать на свои web-страницы и насыщать оболочки ВОС текстовыми (часто отсканированными) МДМ с весьма ограниченным использованием графиков или анимации. Частично это было обусловлено также и высокой стоимостью разработки мультимедийных МДМ.

Со временем выявился целый ряд проблем использования таких материалов, а именно:

- дидактический уровень текстовых МДМ оказался достаточно низким;
- учебные материалы были статическими; их настройка на конкретного пользователя оказалась практически невозможной;
- использование материалов, разработанных в одной ВОС, требовало значительных усилий по их конвентированию и использованию в других ВОС.

Все это привело к тому, что в настоящее время основные усилия по разработке технологий для МДМ сосредоточены на разработке высококачественных МДМ многоразового использования, технология создания которых органически объединена с содержанием и методами его изучения, позволяющими динамически и гибко встраивать их в ВОС нового поколения.

Технология порталов.

Как отмечалось выше, концепция построения ВОС 1-го, 2-го и отчасти 3-го поколений базировалась на использовании статических web-страниц. Однако в общем случае статические web-страницы являются крайне неэффективными в смысле скорости поиска и фильтрации затребованной в Интернете информации.

К числу технологий, позволяющих устранить указанные выше ограничения и способствующих интегрированному и высокоэффективному использованию пользователями виртуальных информационных источников Интернета, относится технология порталов. Суть ее заключается:

- в интеграции в одном месте или единой точке доступа в Интернет (другими словами, на пользовательском образовательном портале) всей необходимой информации из Интернета, имеющей отношение к процессу обучения конкретного пользователя;

- персонализации пользовательской информации и защиты пользователей и их действий в Интернете;
- настройки и адаптации информации, расположенной в Интернете, для различных групп университетских пользователей;
- регулярного (каждый час, день, неделю и т. п.) автоматического обновления информации на пользовательском образовательном портале при изменении данного типа информации на оригинальном источнике информации в Интернете.

Современные системы ОО стали частью университетского образования. Использование интернет-технологий позволяет обеспечить гибкость и комфортность обучения, лучшее восприятие учебного материала. Открытое образование обеспечивает возможность обучения по индивидуальной траектории. Дальнейшее развитие ОО сдерживается необходимостью формировать адаптивную структуру обучения в зависимости от индивидуальных особенностей обучаемого. Для обеспечения всех потенциальных возможностей системы ОО необходимо развивать методики интерактивного общения преподавателя и студента, которые предполагают единство сред (методической, организационной, информационной, программной, технической), систематизацию инфоресурсов, создание больших распределенных баз знаний, а также построение стандартов (норм), облегчающих поиск, обмен и распространение обучающих приложений с возможностью интерактивного общения.

Общение является одним из основных компонентов процесса образования. Введение обратной связи в системы ОО позволяет обеспечить качественно новый этап развития ОО. Возможности интерактивного общения позволяют добиться большей эффективности и рентабельности ОО, высвободить ресурсы на планирование и мониторинг, обеспечить гибкость, динамичность, распределенность и автономность среды ОО.

Для решения этих проблем перспективным представляется использование МАС. Многоагентные системы являются одним из бурно развивающихся направлений искусственного интеллекта. Их отличительной особенностью является переход от локализованного к распределенному искусственному интеллекту. С точки зрения объектно-ориентированного подхода агент представляет собой комплекс функций, в совокупности с интерфейсом способный посылать ответы и получать вопросы. Под интеллектуальным агентом понимаются физические или виртуальные элементы, способные: действовать на любые другие элементы; стремиться к не-

которым целям, общаться с другими агентами, накапливать и использовать собственные ресурсы; воспринимать среду и ее части, строить частичное представление среды; адаптироваться, самоорганизовываться, саморегулироваться и саморазвиваться. Исследования по искусственной жизни связаны с изучением интеллектуального поведения агентов на принципах адаптации, выживания, самоорганизации, построения децентрализованных систем. Многоагентные системы широко используются при разработке автономных движущихся средств, роботов, в системах защиты информации, в электронной коммерции. В ОО МАС включает в себя, помимо чисто искусственных агентов (программных модулей), преподавателя и студента, являясь, таким образом, человеко-машинной системой.

5.6. Технологии виртуальных миров в театре

Артоника – исследование и использование структур искусства (art) в технике, моделировании и программировании.

Искусство владения естественным языком, литература, живопись, скульптура, архитектура, рендеринг, пантомима, балет, театр, кино, музыка способны передавать сложные впечатления и чувства и воздействовать на человека. Современная машинная графика, анимация, компьютерные игры, компьютерная музыка и др. являются прямым порождением артоники [4].

Термин «артоника» (по аналогии с бионикой) был введен профессорами Б. Ф. Егоровым, М. Б. Игнатьевым и Ю. М. Лотманом в начале 70-х гг. XX в. Бионика оформилась как научное направление в начале 50-х, но надежды на получение новых результатов в информационных технологиях на основе бионики до сих пор не оправдались – слишком большим оказался технологический разрыв между реальными биологическими структурами и техническими системами. Только сейчас, когда продвинулось изучение живой клетки, геной структуры, механизмов эволюции, биохимии, когда возникли нанотехнологии, появились реальные надежды на внедрение бионических структур.

Артоника имеет дело с человеко-размерными системами, с изучением театра, литературы, архитектуры, искусства на предмет использования уже сложившихся в этой сфере принципов, приемов и методов в компьютерных информационных технологиях.

ЭВМ были созданы в конце 40-х гг. XX в., с тех пор параметры вычислительных машин увеличились более чем в миллион раз: выросло быстродействие, объемы памяти, искусство программирования, уменьшились габариты и энергопотребление, уменьшилась стоимость, – компьютер стал самой распространенной машиной. Доля чисто вычислительных задач сократилась до 10%, основное место занимают задачи машинной графики, генерации и обработки изображений, генерации и обработки звуков и текстов, что позволяет разрабатывать целостные виртуальные миры. В настоящее время островки автоматизации и компьютеризации начинают объединяться в виртуальные миры.

Но виртуальные миры были и остаются главным предметом искусства. Каждое литературное произведение – это виртуальный мир со своими героями, вербальным описанием обстановки и событий, где читатель с помощью своего воображения воссоздает целостный виртуальный мир.

В театре зрителю помогают воссоздать этот виртуальный мир с помощью декораций, музыки, игры актеров. В кино для этой цели задействованы еще более мощные средства – движущиеся изображения.

Появление трехмерной компьютерной графики позволяет создавать близкие к реальности интерактивные виртуальные миры, населенные аватарами.

Таким образом, появление артоники логично связано с развитием компьютерных технологий. Целесообразно использовать накопленный многовековой опыта искусства при создании виртуальных миров для глубокого погружения в них человека с целью найти наиболее эффективные решения в самых различных сферах деятельности – в образовании, обороне, здравоохранении, на производстве, в науке, сфере финансов, развлечений и наслаждений. Технологии виртуальных миров возникли как синтез новых информационных технологий и искусства. В настоящее время они начинают активно использоваться и в кино, и в театре, и на телевидении, при этом важно соблюсти меру, чтобы не потерять суть театра.

Постановщики спектаклей – режиссер и художник – прежде всего люди творческие, способные к яркому воображению, и каждый раз, создавая новый спектакль, они придумывают «новый, уникальный мир», закономерности которого отражают происходящее на сцене. Каждый человек, пришедший в зрительный зал,

способен «увидеть» или «прочувствовать» этот мир-образ спектакля в найденном «уникальном» решении постановщиков. Можно сказать, что работа постановщиков по созданию спектакля начинается с установления «единого языка» и определения «основного конфликта» в пьесе. В музыкальном театре музыка является для них «единой точкой опоры», а сюжет пьесы или либретто – лишь «скелетом» будущего спектакля. Создание метафоры – главная цель постановщиков. Если образ, найденный сценографом, передан верными средствами, а режиссерская экспликация максимально раскрывает драматургию музыкального спектакля, то степень эстетического и эмоционального воздействия спектакля на публику определяется ее восторженными аплодисментами. (Возможно, аплодисменты, как жест, играют особую роль. Ладонь человека способна передавать и принимать энергию, и ее «будят» для лучшего обмена с энергетикой искусства.) Это самый драгоценный подарок для театральных постановщиков и исполнителей – благодарность зрителей, объединенных рукоплесканием. Но получить это единение зрителя и театрального искусства возможно, лишь приложив огромное коллективное усилие всего творческого и производственного состава, участвующего в постановочном процессе. Организацию всех этих процессов называют постановкой.

Конечно, реализация идей в театральном постановочном процессе очень ограничена архитектурой здания, его объемом и техническим оснащением сцены. Каждый раз режиссер и художник начинают создавать свой мир в «одной и той же» сценической коробке, что значительно усложняет появление исключительной новизны в образном решении художественного оформления и ограничивает режиссуру в пространственном композиционном решении. Театр за всю свою историю от Древней Греции до наших дней собрал множество конструкций стационарных и мобильных сценических площадок. История театра насчитывает огромное количество школ и направлений театрального исполнительского мастерства. В театральном искусстве, казалось бы, все давно создано. Сегодня, с приходом в театральный процесс технологий виртуальных миров, у постановщиков появляется уникальная возможность расширить диапазон творческих возможностей до бесконечного горизонта своего воображения. Художник свободен в выборе времени и пространства в своем воображаемом мире. Но «для того чтобы человек мог жить и работать в реальном мире, его виртуальный мир должен

отражать существенные черты мира реального, иначе он бы не смог ориентироваться в мире реальном, т. е. виртуальный мир должен быть таким, чтобы в нем были представлены все существенные элементы мира реального». Поэтому все идеи и образы, возникающие в процессе творческого поиска, необходимо адаптировать в реальный, материальный мир «человеческого» театра. Театр возник из культовой «соборности», и его сила в единении людей, а доступность нового «виртуального продукта» может лишить нас самого понятия «театральность».

В свое время человек открыл огонь, и прошло немало времени, прежде чем из агрессивной стихии «поглощения и уничтожения» огонь перешел в категорию «управляемого и мирного» союзника. Виртуальный мир необходим нам как помощник в «общечеловеческой реальности». Моделируя «новые миры» на основе культуры и искусства, мы обретаем новые возможности знания. В театре есть непреложный закон – все для актера. Этот принцип уважения хрупкой человеческой природы нам необходимо сохранить в процессе создания новых интерактивных театральных форм.

Режиссер-постановщик, разрабатывая экспликацию замысла будущего спектакля, пишет его в произвольной форме. Его сочинение носит ярко выраженный индивидуальный характер и является необходимым инструментом и одновременно результатом начального этапа работы постановщика над спектаклем. Экспликация может включать в себя заметки и размышления по поводу пьесы; сведения о ее сценической истории; анализ – действенный, лингвистический, сюжетный и т. п.; рисунки, чертежи, наброски декораций, костюмов, гримов, мизансцен, характеристики персонажей, определение стилистических и жанровых особенностей драматургии, стилей актерского исполнения; разработку решения спектакля во времени и пространстве и др.

Работа в виртуальном интерактивном театре позволяет предельно точно рассчитать «темпо-ритм» и «шаго-метр», геометрию планшета сцены. Вычерчивание планировки декораций – их расположения в виде сверху – по сути, является первым этапом монтировки спектакля.

Создав базовую модель зрительного зала и сценической коробки, режиссер получает мгновенную возможность увидеть актера и декорации с любой точки зрительного зала и определить границы их наилучшего взаимодействия. Модель планшета конкретной сцены (сценической коробки) – это как шахматная доска – режиссер

передвигает по ней актеров-аватаров. Стандартные модели арок, станков, предметов мебели и бутафории помогут в выборе композиционного решения мизансцен. Моделирование систем управления постановочным освещением и комплексов механооборудования значительно упростит выбор необходимого оборудования для разработки нестандартных электрифицированных элементов сценографии и специальных эффектов. Решая творческие задачи создания образа роли, режиссер буквально может «сыграть и спеть» за каждого персонажа, определить общую семантику сценического действия, разработать электронные декорации.

Либретто – литературный текст оперы, является ее сюжетным каркасом, т. е. лишь общим, далеко не точным представлением о будущем произведении. Это скорее отправной пункт, от которого композитор и режиссер могут развивать действие в разном направлении, с разной скоростью. Многое зависит от стиля и темперамента музыкального произведения. Работа художника над образом спектакля начинается с момента определения драматургической концепции и жанрового характера музыкального произведения. Основной темой в развитии образа спектакля является определение конфликта. Определение жанра, конфликта, времени, сверхзадачи и стиля постановки полностью зависит от музыкального материала (партитуры, клавира, CD, аудиозаписи, истории создания).

Партитура – это зашифрованные в нотных знаках чувства и действия героев. Это краски в небе, блеск звезд, направление движения персонажей, динамика смены декораций. Все, что зашифровано в партитуре, может зазвучать, но чтобы увидеть события, написанные в партитуре, необходимо творческое воображение. Важно, чтобы режиссер и художник внимательно изучили партитуру, ее графику. Взаимосвязь музыкальных инструментов и человеческих голосов требует четкого определения композиции каждой картины. Каждый такт можно измерить шагами исполнителей. Режиссер и художник определяют характер перемен декораций и выход солистов и хора по партитуре.

Дирижер руководит этим процессом и принимает мгновенные решения исходя из голосовых возможностей исполнителей. Он контролирует и управляет оркестром, слышит всех и каждого в отдельности. Его язык – это разнохарактерный жест. В музыкальном театре существуют специфические требования к законам композиции. Декорация должна быть выстроена таким образом, чтобы

солисты не удалялись от зрителя далее третьего плана сцены. На самом дальнем плане планшета сцены солисты и хор всегда должны видеть дирижера, а публика, находящаяся в противоположных сторонах зрительного зала и балкона, могла бы видеть и солистов и все декорации.

Художник-постановщик (сценограф) музыкального спектакля прежде всего слышит музыку и «видит» ее «внутренним зрением». Возникающие образы, как бы «знаки», рождающие ассоциативный ряд, соответствующий развитию музыкального сюжета, рука мастера рисует «сама». Это фантастический процесс, во время которого художник находится в своих «виртуальных мирах» и испытывает «абсолютное счастье забвения» (особая химия), т. е. забывает о сиюминутной реальности. Свои образы и ассоциации театральный художник переносит в материальную среду сценической коробки и переводит в объем, форму, линию, цвет, ритм и фактуру материальных предметов, взаимодействующих с человеком (актером). Свет в художественном оформлении является дополнительной формой самостоятельного творчества. Прослушивание музыкального произведения необходимо художнику для создания изобразительной метафоры образа спектакля; цветового, эмоционального решения эскизов декораций и характеров персонажей. Изучение материальной культуры, соответствующей стилю будущего спектакля, – это ключевой момент в художественном решении спектакля. Эпоха, в которой существует сюжет спектакля, имеет свою архитектурную композицию, историю костюма, нравы и мораль. Требуется описать необходимых условий, характеристика персонажей и предметов.

Большинство художников музыкального театра стремятся преодолеть внутреннюю статичность, издавна присущую оперному искусству в целом и художественному оформлению в частности. Поиск единого конструктивного (живописного, графического или иного) решения декорации – основная задача художника-постановщика. Точность определения срока выпуска спектакля зависит от четкого планирования и управления театральным проектом. Это позволяет определить художнику-постановщику соотношение желаемого и имеющихся средств.

В работе над музыкальным материалом, текстом пьесы художнику необходимо общение с драматургом, режиссером, композитором, хореографом и др. В виртуальном театре можно бесконечно корректировать, выбирать, стирать, восстанавливать стертые, ме-

нять местами, вставлять новое, посылать друг другу комментарии и разработку удачных мизансцен, интерактивно взаимодействуя, находясь физически в разных точках мира.

Язык метафоры – единственный общий язык режиссера и художника. На место повествовательного оформления, раскрывающего спектакль покартинно, приходят идеи декорации, создающие единый образ всего произведения в целом, пластически решающие его философскую и идейную концепцию. Существенную помощь в этом процессе оказывает умение пользоваться современной технологией компьютерной обработки изобразительного, художественного материала.

Самый продуктивный период работы художника – в графической технике, набросках, в конструктивных рисунках. Постоянно происходящая внутренняя работа художника-постановщика над решением спектакля фиксируется небольшими рисунками. Эти графические мысли komponуются, анализируются, изменяются, чтобы в результате соединиться в замкнутую цепочку картин – единое решение спектакля. В карандашных набросках возникающие идеи можно развивать и трансформировать до тех пор, пока точный анализ музыкальной драматургии оперы не совпадет с единым решением декораций. Монтаж и раскадровка – один из основных элементов моделирования спектакля.

Наиболее важным документом для решения сценического пространства является планировка. Начало работы над разбором партитуры напрямую связано с разработкой планировки деталей оформления спектакля, направления движения актеров, определения уровня и количества декораций на планшете, наличия пандуса, лестниц, станков и т. д. В планировке указывается последовательность верховой развески декораций, номера штанкетов. Планировка необходима при поиске конструктивного решения спектакля на планшете сцены, контролирует и ограничивает частую смену решений на первом этапе и впоследствии является основанием и подтверждением художественного решения спектакля, точным измерительным прибором для создания макета, а затем и самих декораций.

Одной из основных особенностей оперно-балетных театров является наличие оркестровой ямы. Во многих современных театрах площадка для оркестрантов является подъемно-опускной, в поднятом положении она выходит на уровень планшета сцены, что используется, например, для концертной деятельности симфо-

нического оркестра и для проведения празднеств без его участия. Из-за значительного отдаления зрителя от исполнителя из-за размера оркестровой ямы грим в балете и опере делают более ярким, стараются избежать мелких деталей. Существуют два основных технических приема гримирования: живописный и скульптурно-объемный, каждый из них базируется на конкретном изучении пластических особенностей лица. Значительная роль в гриме принадлежит прическе, при помощи которой, так же как и красками, можно изменить овал лица, форму лба и щек.

Грим видоизменялся в различные исторические периоды: то принимал вид декоративной косметики, то форму масок. Так, в театрах Древней Греции и Рима с огромными зрительными залами маски стали необходимы для актеров.

Понятие «грим» (франц. *grime*) имеет два значения. Грим – искусство изменять внешность актера с помощью специальных красок (грима), пластических и волосяных наклеек, парика и др. Во втором значении грим – это гримировальные краски и другие принадлежности. Искусство грима можно разделить на два этапа: поиск нахождения грима и техническое его выполнение. Поиск и нахождение грима представляют собой творческий процесс, он довольно сложен, требует специальной подготовки, а это возможно только тогда, когда основательно изучена техника гримирования и накоплен достаточный опыт. Моделирование этого процесса значительно упростит процесс поиска и его технологию.

Солисты во время пения, как правило, ограничены в активном действии, и движение происходит во время паузы. Оперный певец не может позволить себе «переживать» роль, а лишь изображает (играет) определенное состояние (физиология и особенности строения голосового и дыхательного аппарата). Певец всегда должен следить за сигналами дирижера и техникой пения, поэтому все его действия описаны в режиссерском сценарии. Солисту необходима особая пластика и яркий характерный образ, создаваемый при помощи костюма, грима и прически.

Правильный костюм в театре весьма важен. Художник обдумывает костюм с точки зрения характера покроя, типичного для времени и образа. Персонажи, действующие в спектакле, почти никогда не копируют иллюстративный материал. Историю костюма художнику-постановщику необходимо знать, брать за основу созданные стили, а при необходимости и перерабатывать. Театру нужен живой персонаж, не похожий на «идеал» с модной картинки.

Чтобы понять костюм, собственно не костюм, а скорее образ – нужно проникнуть в дух эпохи.

Виртуальный театр поможет воссоздать материальный и духовный мир эпохи с точностью, необходимой для создания ее образов. Дополнительная возможность компьютерного моделирования исторических, жанровых и бытовых костюмов выделяет эту самостоятельную область театрального искусства в новую интерактивную театральную форму.

Виртуальный театр – это универсальный полигон для принятия верных решений. Как инструмент постановщика он значительно сократит время создания спектакля, позволит улучшить качество всех процессов и внедрить электронные декорации, которые могут существенно расширить возможности постановщиков, снизить затраты на создание, хранение и транспортировку декораций.

Интересно рассмотреть различные театральные постановки на предмет внедрения новых информационных технологий. Постановленная в конце 2009 г. в Михайловском театре опера «Русалка» А. Дворжака дает пищу для размышлений в этом направлении. Следует отметить, что сцена этого театра уже оборудована мощными мультимедийными проекторами и системой экранов, которые в этой постановке используются не в полную силу. На наш взгляд, следовало бы выдержать иерархию образов в соответствии с либретто – сверху божественное, потом человеческое, потом русалки, далее лешие и в самом низу – Баба-яга, олицетворяющая зло. В постановке же верхнюю позицию занимает Баба-яга, появляясь в странном отверстии выше всех, и далее эта черная дыра довлеет надо всем. Большой экран следовало бы использовать более эффективно, разместив на нем образы в соответствии с иерархией Дворжака. Рассматривая проект постановки «Божественной комедии» Данте Алигьери в сопровождении музыки Вагнера, Берлиоза и Бетховена, опять-таки считаем, что необходимо использовать большой экран снизу доверху, разместив изображения героев в соответствии с иерархией Данте, сами же играющие и поющие артисты могут размещаться в специальных комнатах, оборудованных системой аудиовизуальной трансляции.

Если говорить о компьютерной трехмерной анимации, то апофеозом в этом направлении является кинофильм «Аватар», создание которого стоило 300 млн дол. и продолжалось примерно 20 лет, но зато создан эталон, на который все волей-неволей должны равняться.

5.7. Многовариантная история Петербурга

«Учит ли нас история?» – такой вопрос был задан с трибуны Северного исследовательского форума, который проходил в Великом Новгороде 19–22 сентября 2002 г. Задал этот вопрос академик РАН В. В. Алексеев, он хотел получить на него ответ, но не получил. Говорили о многом. Министр науки, образования и культуры Исландии говорил о викингах, которые еще примерно в 1000 г. достигли Северной Америки, но получили отпор от аборигенов. Тогда вторжение европейцев в Америку не удалось, а через 500 лет, когда Колумб открыл Америку, туда хлынули европейцы и уничтожили индейскую цивилизацию. Этот же министр говорил, что во время Великой французской революции 1789 г. во Франции грамотных было только 4% от численности всего населения, в то время как в Исландии в это же время грамоте было обучено 14%, что обеспечило развитие исландской литературы. Говорил он и о том, что историей интересуется лишь небольшая горстка людей, медиков интересуется история глубиной 50 лет, а банковских работников – лишь 5 лет.

Так чему же учит история? Почему повторяются исторические ошибки? На наш взгляд, историческая наука в том виде, как она существует, ничему научить и не может. Ведь нам в настоящем приходится выбирать решение среди многих возможных вариантов, в прошлое уходит какой-либо один вариант, вот он и изучается исторической наукой. Для живущих самое главное – как выбрать наилучший вариант среди многих других, вот этому история действительно не учит, но это самое интересное. Нам кажется, историческая наука должна изучать, как бы развивались события по различным сценариям. Но коронная фраза апологетов традиционной исторической науки – «история не знает сослагательного наклонения»; традиционная наука отвергает изучение вариантов развития событий в обществе. В отличие от исторической науки искусства отражали многовариантность мира. В настоящее время развитие компьютерного моделирования позволяет еще острее поставить вопрос о многовариантном развитии событий, о многовариантной истории. В качестве первого шага мы занимаемся многовариантной историей Петербурга, где все в порядке с датировкой событий. Наше исследование основывается на построении математической модели города, на сопоставлении событий в городе и стране с развитием модели, в частности, на изучении нереализованных строительных

проектов и генеральных планов. Например, во времена Екатерины Великой механик Иван Кулибин разработал проект одноарочного моста через Неву, была даже построена уменьшенная копия-макет этого моста, он получил высокую оценку Л. Эйлера и Д. Бернулли, но сам мост так и не был построен. Если бы его построили, он бы сыграл роль Эйфелевой башни в Париже. Методами компьютерной графики мы можем вписать мост Кулибина в структуру Петербурга того времени и промоделировать, как бы сказались наличие такого моста на развитии всего города как с точки зрения его облика, так и транспортных возможностей. Таких нереализованных проектов много, и можно было бы построить множество виртуальных Петербургов с реализованными проектами, тем самым мы глубже поняли бы логику развития города, логику развития архитектуры и искусства Петербурга. У нас в городе нет аналога Политехническому музею в Москве, но имеется множество небольших музеев различных предприятий и организаций, на их основе возможно создание Виртуального политехнического музея. К 300-летию города создан Виртуальный мир университетов Петербурга, который позволит рассматривать высшую школу Петербурга как единое целое.

В истории нашего города было много взлетов и падений. Структура общества тесно связана со структурой времени. Прошлое – настоящее – будущее – слагаемые времени, но время не существует само по себе, оно является одним из элементов структуры. Каждый виртуальный мир имеет свое время, которое определяется его структурой. Возможна синхронизация времени различных виртуальных миров. Каждый человек имеет свои модели мира, по крайней мере левополушарную и правополушарную модели. Структура модели должна включать блоки, которые существовали и существуют на интересующем нас отрезке времени, она обязательно должна включать неопределенность. В качестве таких блоков можно взять:

- население с атрибутами здоровья, образования, занятости, принадлежности к разным классам;

- пассионарность как характеристику устремленности социальных групп населения. На пассионарность Петербурга сильное влияние оказала его роль столицы Империи, влияние царского двора, влияние внешнеполитических событий. Высокая пассионарность позволила ленинградцам преодолеть блокаду и победить;

- территорию, включая наземные и подземные постройки, в пределе это геоинформационная система, геополитическое положение;

– производство, включая промышленность, научную и образовательную деятельность, деятельность по строительству и управлению государством и т. д. Функции города в стране и мире, в том числе и властные функции, властное служение, армия и флот;

– экологию, качество воды, воздуха, эпидемии и безопасность;

– финансы, влияние Монетного двора, банки;

– внешние связи, включая входящие и выходящие потоки людей, информации, финансов, энергии, товаров и иных ресурсов. Во время блокады эти связи были прерваны.

К этой семиблочной модели добавляется время как восьмая переменная. В итоге основное уравнение города будет иметь вид

$$A1 * E1 + A2 * E2 + A3 * E3 + A4 * E4 + A5 * E5 + \\ + A6 * E6 + A7 * E7 + A8 * E8 = 0,$$

где $A1$ – характеристика населения; ..., $A8$ – характеристика времени; $E1$ – $E8$ – изменения этих характеристик.

В эквивалентной системе уравнений относительно изменений будет содержаться S произвольных коэффициентов:

$$S = C = \frac{m+1}{n} = \frac{2}{8} = 28.$$

Произвольные коэффициенты могут быть использованы для управления структурой, для ее настойки или самонастройки, они составляют часть блока управления структурой, другую его часть составляет механизм наложения (или снятия) ограничений, механизм обучения. В свое время Платон называл городом поселение с числом очагов свыше 10 тысяч, и там обнаруживалась необходимость иметь иерархическую систему управления.

Характерной чертой Петербурга являлось наличие нескольких центров власти: император и его окружение, градоначальник, руководители крупных ведомств, министерств, руководители больших предприятий и банков.

В этих условиях важнейшим согласующим документом был генеральный план развития города, который несколько раз менялся. Взлеты и падения в истории Петербурга, циклы его развития отражались на его генеральных планах. Наличие хорошо проработанных альтернативных проектов – важнейшее дело для перехода к устойчивому развитию, в Петербурге до сих пор нет программы перехода к устойчивому развитию, он не включился в это мощное движение под эгидой Организации Объединенных Наций.

Осенью 2009 г. состоялся VIII Общероссийский форум «Стратегическое планирование в регионах и городах России», на котором рассматривались и вопросы стратегического планирования в Санкт-Петербурге как посткризисной перезагрузки. На обсуждение были вынесены два вопроса:

1. Что под влиянием кризиса и других факторов изменяется в видении будущего Санкт-Петербурга, какой будет роль Санкт-Петербурга в изменившемся мире?

2. Что под влиянием кризиса и других факторов изменяется в системе стратегического планирования города: формы, методы, технологии?

Участники отметили высокое качество системы государственного планирования социально-экономического развития, разработанной в Санкт-Петербурге, включающей набор долго- и среднесрочных плановых документов и ряд подзаконных актов методического и технического характера.

В развернувшейся на круглом столе дискуссии участники обсудили пути преодоления посткризисных явлений в экономической, социальной, культурной и иных сферах Санкт-Петербурга, указали ряд направлений развития Санкт-Петербурга, элементов видения будущего Санкт-Петербурга и трендов развития различных городских сегментов, которые целесообразно отразить в корректируемой Концепции социально-экономического развития Санкт-Петербурга до 2025 года.

В частности, заслуживают внимания следующие тезисы.

1. Основные направления развития города, обозначенные в Концепции социально-экономического развития Санкт-Петербурга – мировой город, центр инноваций и управления, транспортно-логистический центр – остаются актуальными. Однако следует быстрее внедрять новые технологические решения, обеспечивающие конкурентоспособность городской среды производства и жизнедеятельности, с учетом таких общемировых тенденций как:

- новая энергетика, распределенная энергетика, постуглеродная энергетика;
- новый транспорт – интеллектуальные дороги и улицы;
- смена стандартов строительства и проектирования;
- беспроводная передача данных.

2. Главная задача для Санкт-Петербурга – двигаться в направлении формирования инновационного и креативного города. В городе должен активнее формироваться кластер креативной индустрии

как место для работы творческих людей, должны реализовываться программы сохранения и использования культурного наследия и выхода образования на мировой уровень.

3. У города есть конкурентные возможности в сфере развития культуры, которыми надо активно пользоваться. Но если Санкт-Петербург не будет «мировым городом», то он не сможет сохранить свое историческое и культурное наследие. Оно избыточно для провинциального города, его может удержать только глобальный город.

4. В городе есть успешный опыт создания кластеров, который необходимо развивать на основе взаимодействия промышленности, науки и системы образования. Задача Санкт-Петербурга не только создавать высокие технологии, но и обеспечивать их применение в нашей стране.

5. Ключевым фактором развития являются комфортные условия для бизнеса. Если город не будет комфортным для предпринимателей, развития не будет.

6. В связи с кризисом наступает время реструктурирования транспортно-логистического комплекса и понимания его правильного значения для города. Если в Петербурге состоится переход к инновационному развитию, то важно будет думать не только о перевозке грузов, но и о мобильности населения города, поскольку это повышает конкурентоспособность и города, и его жителей.

7. Наилучшие предпосылки для конкурентоспособности в мировом масштабе имеют такие сферы Санкт-Петербурга как:

- культура;
- логистика в рамках Северо-Запада и Ленинградской области;
- образование, в том числе высшее и последиplomное.

Однако существуют серьезные риски, что система образования не сможет адекватно ответить на современные вызовы.

8. При корректировке методических документов в области стратегического планирования необходимо продолжить поиск рационального числа количественных показателей (учитывая, что эффективное прогнозирование развития города ограничивается недостатками статистики), повысить гибкость планирования за счет перехода на скользящее планирование, упростить систему планирования. Целесообразно использовать в качестве механизма реализации стратегий сбалансированную систему показателей, которая обеспечивает переход от стратегических целей к целевым программам.

По вопросу «Информационное обеспечение задач регионального управления и стратегического планирования в городах и регионах России» участники предложили:

1. Внести предложения в правительство РФ:

– включить показатели развития «информационного общества» в систему оценки деятельности субъектов Российской Федерации. Основание: принятие Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации;

– в полномочия органов местного самоуправления включить деятельность в сфере информатизации. Подготовить и внести соответствующие изменения в ФЗ № 131;

– обеспечить регулярный мониторинг уровня информационного развития территорий Российской Федерации и подготовку рейтинга федеральных органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации по уровню использования технологий электронного правительства.

2. Внести предложения в Государственную думу РФ:

– закрепить права субъектов РФ на сбор информации, необходимой для выполнения функций государственного управления и стратегического планирования;

– ускорить принятие нормативно-правового пакета по созданию условий для внедрения информационно-коммуникационных технологий в системы управления органов государственной власти;

– рассмотреть возможность внесения дополнения в проект Федерального закона «Об общих принципах организации предоставления государственных (муниципальных) услуг и исполнения государственных (муниципальных) функций» в части внедрения в этот процесс государственно-частного партнерства;

– в закон о государственном планировании внести раздел, связанный с информационным обеспечением государственного планирования;

– организовать в рамках СНО «Национальные инновационные системы» постояннодействующую рабочую группу по теме инноваций в региональном управлении на основе использования ИКТ с привлечением более широкого круга экспертов;

– отметить координационную роль СНО «НИС» в разработке и реализации новых принципов взаимодействия власти и общества, через создание новых социально-ориентированных технологий государственного управления, основанных на приоритете оказания государственных услуг, а также в вопросах создания нормативной

базы при организации межведомственного взаимодействия и взаимодействия органов государственной власти с гражданами и организациями.

3. Рекомендовать в рамках работы СНО «Национальные инновационные системы» реализацию Программы «Совершенствование системы регионального управления на основе ИКТ (электронное правительство региона)» по единой методике в 10–15 регионах, которые послужат точками социальной активности, экономического роста, укрепления доверия к власти и существенного повышения эффективности реализации Федеральной целевой программы «Электронная Россия».

4. Рекомендовать федеральным органам исполнительной власти (Минкомсвязи, Минэкономразвития):

– при разработке планов по реализации программ «Электронная Россия», «Электронное правительство», ДЦП «Информационное общество» расширить возможности в информационном обеспечении регионов в реализации программы электронного правительства;

– включить раздел «Геоинформационные системы» в ФЦП «Электронная Россия» и ДЦП «Информационное общество» в рамках концепции развития российской инфраструктуры пространственных данных как приоритетное направление в решении задач территориального планирования.

5. Органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации в рамках общественных советов сформировать рабочие группы по вопросам развития информационного общества и электронного правительства и обеспечить их взаимодействие со структурами гражданского общества.

5.8. Репрессированный музей и панорама битвы за Ленинград

Летом я вместе с внуком посетил Минск и Брест, и мы были приятно удивлены, с какой тщательностью в Белоруссии сохраняется память о Великой Отечественной войне. В Бресте в старой крепости развернут мощный мемориал – там в окружении в течение месяца сражался гарнизон. И сразу возникает вопрос – ведь Ленинград 900 дней сражался в окружении и победил, а почему подобных мемориалов нет в Санкт-Петербурге? Чтобы ответить на этот вопрос, можно посетить и мемориал в конце Московского проспекта, и

Пискаревский мемориал, и Музей обороны и блокады Ленинграда в Соляном городке и выяснить историю этого вопроса.

Оказывается, 8 августа 1943 года, в горячие дни обороны Ленинграда, военный совет Ленинградского фронта принял постановление *«О сборе, учете и хранении мемориальных образцов оружия и боевой техники»*, в котором говорилось, что необходимо *«...организовать в войсковых соединениях учет коллективного и личного оружия Героев Советского Союза, лучших бойцов и отдельных расчетов, проявивших доблесть и мужество в боях за Родину... Оружие, с которым отдельные бойцы, командиры или группы бойцов показали образцы мужества и героизма, заменять, по возможности, и сдавать в Артиллерийское снабжение фронта»*. На сдаваемое вооружение необходимо было выслать описание боевых эпизодов, характеризующее его боевое применение.

В войсках фронта это постановление было встречено с пониманием. За сравнительно короткий срок было собрано значительное количество оружия, в том числе и трофейного, а также документальные материалы о подвигах защитников города. Очевидный успех начинания объяснялся, по-видимому, не только тем, что его исполнители были связаны военной дисциплиной, но и тем, что идея сохранения для будущего реликвий подвига героических защитников города на Неве соответствовала потребностям многих непосредственных участников событий.

4 декабря 1943 года военный совет принял еще одно постановление *„Об организации выставки «Героическим защитникам Ленинграда»*”. Сразу же начались работы. В штат выставки были оформлены научные сотрудники и художники. Большой вклад в работу коллектива внес кандидат исторических наук майор Л. Л. Раков – ученый-историк, который пользовался большим авторитетом среди музейных работников города.

Главным художником выставки был назначен Николай Михайлович Суетин.

Этот выдающийся художник-авангардист родился в 1897 году и всю свою жизнь, а умер он в 1954 году, отдал служению искусству. В 1937 году Суетин был главным художником советского павильона на Международной выставке в Париже, в 1939 году – главным художником советского павильона на Международной выставке в Нью-Йорке. Эти его работы получили высокую оценку мировой общественности. В довоенные годы он много работал над оформлением различных выставок в Москве и Ленинграде. В годы Великой

Отечественной войны самоотверженно трудился в Ленинградском штабе партизанского движения, принимал участие в выпуске «Окон ТАСС», готовил выставки, посвященные героическим будням защитников Ленинграда, разрабатывал методику маскировки архитектурных памятников, жилых домов, промышленных предприятий.

Прекрасный организатор, он сумел сплотить коллектив единомышленников: художников, скульпторов, архитекторов, декораторов, которые под его руководством талантливо оформили экспозицию выставки. Активное участие в работе по созданию выставки приняли архитекторы и художники К. Л. Иогансен, В. А. Петров, В. А. Серов, Я. С. Николаев, Г. А. Савинов, С. И. Левенков, Н. Е. Тимков, А. С. Бантиков, Ю. М. Непринцев, Н. И. Пильщикова, скульпторы В. Б. Пинчук, В. Я. Боголюбов, М. Р. Габбе, мастер-макетчик А. А. Козанцев и другие.

Вместе с Н. М. Суетиным пришла работать его жена – художница Н. А. Лепорская. До наших дней сохранилась одна из ее записей 1943 года: *«Работаем с Николаем Михайловичем на выставке «Героическая оборона Ленинграда». Экспонаты для выставки привозятся прямо с поля боя. Николай Михайлович назначен главным художником. Привлекаются все оставшиеся в городе живописцы, графики, декораторы»*.

Работа велась практически круглые сутки, люди не считались со временем, у всех было одно стремление – все сделать в установленный срок, надежно и качественно.

30 апреля 1944 года в 1044-й день Великой Отечественной войны состоялось торжественное открытие выставки «Героическая оборона Ленинграда». На открытие пришли бойцы и командиры – защитники города, представители заводов и фабрик, деятели науки, литературы и искусства. С речью выступил председатель исполкома Ленгорсовета П. С. Попков. Он отметил, что выставка отразила все этапы героической борьбы ленинградцев за свой город: кровопролитные бои на подступах к Ленинграду; тяготы, перенесенные ленинградцами в период блокады; борьбу за ледовую трассу; накопление сил для решающих сражений с врагом и заключительный этап борьбы – разгром вражеских полчищ под стенами нашего города. Попков выразил уверенность в том, что *«...на эту выставку будут приезжать экскурсии из других городов, из стран-союзников, и она поможет им понять всю грандиозность того гигантского сражения, которое мы вели на протяжении 28 месяцев и которое мы выиграли»*.

Коллектив создателей сделал все возможное в условиях военного времени для того, чтобы выставка как можно ярче отразила все этапы Ленинградской битвы, работу легендарной «Дороги жизни», героический труд рабочих заводов и фабрик, действия моряков Краснознаменной Балтики, инженерных войск, летчиков, артиллеристов, бойцов МПВО. Этому посвящалось более 6 тысяч экспонатов, свидетельствовавших о мужестве, стойкости и героизме ленинградцев и воинов. Здесь экспонировались портреты первых Героев Советского Союза, удостоенных этого звания во время Великой Отечественной войны: летчиков М. П. Жукова, С. И. Здоровцева и Т. П. Харитонов, которые таранили вражеские самолеты в небе Ленинграда. Здесь же были представлены материалы о деятельности партизан на временно оккупированной территории области, документы о зверствах гитлеровцев, об угоне населения в фашистское рабство. Экспонировались сотни документов, фотографий, личных вещей защитников города и горожан, картина художника А. Барановского «Один против 43», посвященная подвигу отважного танкиста Колобанова, портреты летчиков Героев Советского Союза С. П. Косинова, И. Т. Черных и Н. П. Губина, которые направили свой горящий самолет на скопления вражеской техники.

Посетители знакомились здесь с боевыми действиями войск, с героями прорыва блокады, многочисленными документами и материалами, произведениями художников и скульпторов.

Особый интерес у посетителей вызывал десятый отдел «Великая Победа под Ленинградом». Здесь подробно и обстоятельно раскрывались январские события 1944 года, рассказывалось о прорыве блокады, о мужестве воинов. Были представлены минометный расчет братьев Шумовых, самолет М-16 Героя Советского Союза старшего лейтенанта Ломакина, истребитель Як-7 дважды Героя Советского Союза Петра Покрышева. Большая диорама изображала момент прорыва вражеской обороны южнее Пулкова 15 января 1944 года. Здесь же экспонировался самолет ИЛ-2, который участвовал во многих воздушных боях и имел более двух тысяч пулевых и осколочных пробоин. В специальной витрине в центре зала хранилась грамота Ленинграду президента США Ф. Рузвельта.

В августе 1945 года в сопровождении Маршала Советского Союза Г. К. Жукова в Ленинграде находился генерал Д. Эйзенхауэр. В течение нескольких часов он осматривал выставку «Героическая оборона Ленинграда». В книге отзывов генерал Д. Эйзенхауэр записал: *«Музей обороны Ленинграда является наиболее замечательной во-*

енной выставкой из всех виденных мною. Героическая оборона города заслуживает увековечивания в нашей памяти в вещественном выражении. Настоящий музей достойно осуществляет это».

Распоряжением Света народных комиссаров Российской Федерации от 5 октября 1945 года № 2522-р выставка «Героическая оборона Ленинграда» была преобразована в Музей обороны Ленинграда республиканского значения. Были расширены площади до 40 тыс. кв. метров, что позволило разместить 37 654 экспоната. Музей пользовался огромной популярностью. Здесь побывали тысячи посетителей – горожан, воинов армии и флота, иностранных гостей. По посещаемости музей уступал только Эрмитажу.

Казалось бы, музей, созданный в период боевых действий Второй мировой войны, сохраняющий бесценные реликвии великой Ленинградской битвы и трагических дней блокады города, будет жить вечно, напоминая новым поколениям о мужестве и воинской доблести защитников города. Но случилось обратное.

В феврале 1949 года в город в связи с так называемым «Ленинградским делом» прибыл секретарь ЦК партии Г. М. Маленков. Он потребовал путеводитель по музею и, посмотрев его, заявил, что экспозиция музея извратила ход исторических событий в годы Великой Отечественной войны, игнорировала роль Сталина в спасении города на Неве. Это был приговор музею.

Вскоре все помещения музея были переданы министерству Военно-морского флота. В ноябре 1952 года была образована ликвидационная комиссия. В разные музеи и воинские части были переданы многие экспонаты, часть утрачена. 5 марта 1953 года, в день смерти Сталина, был подписан акт о полной ликвидации музея. Без работы остались сотрудники, создававшие музей, более того, некоторые из них были репрессированы.

Трагически сложилась судьба директора музея Л. Л. Ракова, его арестовали, судили и приговорили к 25 годам лишения свободы, по так называемому «Ленинградскому делу». А руководители блокадного Ленинграда были расстреляны. Справедливость восторжествовала лишь спустя 4 года. 12 мая 1954 года дело по обвинению Л. Л. Ракова было пересмотрено Военной коллегией Верховного Суда СССР и за отсутствием состава преступления прекращено.

Прошло 40 лет. Возросла духовность общества. Все чаще и чаще стали возрождаться забытые традиции русского народа, и на волне этого возрождения, глубокого понимания истории возвращались утраченные ценности.

В 1988 году ветераны войны и блокадники, известные ученые и писатели, деятели культуры подняли голос в защиту разоренного музея. Этому были посвящены собрания творческих и рабочих коллективов, теле- и радиопередачи, многочисленные публикации. 24 апреля 1989 года исполком Ленсовета принял решение о восстановлении музея. 8 сентября 1989 года состоялось торжественное открытие частично возрожденного музея – ведь теперь он стал занимать только тысячу квадратных метров – в 40 раз меньше, чем первоначальный музей, и это положение сохраняется до сих пор. Ни Пискаревский мемориал, ни мемориал в конце Московского проспекта, ни тем более существующий Музей обороны и блокады Ленинграда не соответствуют величию подвига ленинградцев. Поэтому в 1999 г. в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения родилась идея возродить этот музей на новой технической основе – создать панораму битвы за Ленинград на основе технологии виртуальных миров. Эта идея получила поддержку в Обществе жителей блокадного Ленинграда, в других общественных организациях ветеранов и блокадников. Уже сформировался облик будущей панорамы – в виде холма Памяти и Славы, здания конической формы. Этот проект подробно описан в нашей книге «Архитектура виртуальных миров». Вот уже десять лет проходят встречи с руководством города, но толку нет – до сих пор не выделен даже участок земли для сооружения панорамы, все занимает коммерческая застройка. Сетуют на нехватку денег – и проектируют громадную башню на Охте, тратят деньги на помпезные карнавалы и т. д. А ветераны и блокадники уходят из жизни, их осталось уже мало. Мне непонятно, почему такое творится в нашем городе, почему прошло 60 лет со дня закрытия музея обороны и блокады Ленинграда, а он до сих пор не восстановлен в полном объеме. Хотелось бы в канун 65-й годовщины победы в Великой Отечественной войне принципиально решить вопрос о создании панорамы битвы за Ленинград и полном возрождении Музея обороны Ленинграда. Несмотря на прошедшие десятилетия после окончания Второй мировой войны, она хранит многие тайны. Вот одна из них.

Летом 1942 г. состоялась встреча Гитлера и Маннергейма, на которой было решено подавить блокированный Ленинград путем обстрела снарядами, начиненными отравляющими веществами. Были изданы соответствующие директивы, и снаряды с химической начинкой начали концентрировать около Ленинграда как со стороны немцев, так и со стороны финнов (около одного миллиона

снарядов). Советские разведчики это обнаружили, державы антигитлеровской коалиции выступили с заявлением по этому поводу и угрожали применить отравляющие вещества против Германии, если Германия применит их против Ленинграда. Газовая атака на Ленинград планировалась на апрель 1943 г., но атака сорвалась благодаря здравомыслию офицеров вермахта и советских офицеров, что было сделать непросто. В художественном фильме будет рассказываться о перипетиях этой закрытой страницы истории.

5.9. Моделирование поля боя

Представляется перспективным создание компьютерной модели поля боя (МПБ) на уровне бригады для повышения эффективности использования войск на основе технологии виртуальных миров, максимально приближая при этом моделируемую боевую обстановку к реальной по пространственно-временному размаху и количеству привлекаемых сил и средств. Еще в 1983 г. в советской армии была создана система «Маневр», которая объединяла управление разнородными огневыми средствами – артиллерией, ракетными комплексами, авиацией – в одной системе. «Маневр» обеспечивал командиру на поле боя невиданную доселе возможность управления боевыми средствами. Командиры на местах точно знали, чего от них хотят в штабе, где находятся дружественные и вражеские силы. Этот комплекс успешно прошел испытания в Белорусском военном округе (газета «Известия» от 12.01.2010 г.). В настоящее время аналогичный комплекс создается на новой технической основе.

При этом необходимо решить задачи по разработке архитектуры (состав подсистем, режимы работы) системы МПБ на основе ВМ и ее аппаратного, программного и организационного обеспечения по разработке методов и средств адаптивной генерации сценариев, по созданию хранилищ моделей компонентов МПБ (ландшафтов, растительности, зданий и сооружений, видов техники, живой силы и др.) и их поведения (время суток, время года, погодные условия, перемещение в пространстве и т. п.) с учетом физических законов, интерактивных моделей процессов управления боем, одно- и многопользовательских приложений войсковых операций, средств доставки МПБ (локальная, сетевая, гибридная) конечному пользователю, интерфейса конечного пользователя (офицерский и личный состав) и вариантов его реализации, средств адаптации (персонали-

зации) МПБ к потребностям пользователя, интерактивной эксплуатационной документации (руководств, нормативов, наставлений, обслуживания техники и др.).

Эффективность использования наших войск нуждается в существенном улучшении как с точки зрения разведки и подготовки операции, так и с точки зрения оснащения различными видами вооружений и связи, тренировки и подготовки войск к ведению боевых операций.

В США уже в течение 15 лет для этих целей применяют компьютерное МПБ, результаты которого использовались в различных горячих точках мира. По оценкам военных аналитиков, именно в области технологий имитации и моделирования ситуаций и связанных с ними компьютерных технологий автоматизированного управления, именно в этом направлении можно ожидать важных результатов. В нашей стране в этом направлении имеются хорошие научно-технические заделы, которые необходимо использовать. Например, сотрудники Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения в 2005 г. были награждены премией Президента России за комплекс инновационных разработок в области технологии виртуальных миров.

Создание и применение в войсках компьютерной МПБ является крайне актуальным, позволяя в несколько раз повысить эффективность использования войск.

Уровень развития технологий моделирования является одним из ключевых факторов обеспечения превосходства страны над потенциальным противником.

Американские военные по назначению выделяют три основные группы моделей:

- используемые в целях анализа и оценки (обеспечение оперативной работы);
- применяемые в сфере создания вооружения и военной техники (ВВТ);
- предназначенные для обучения личного состава, оперативно-боевой подготовки войск и штабов.

Тенденция – создание так называемых моделей межвидового сообщества, объединяющих различные компоненты военного назначения (виды ВС, командования, самостоятельные управления военного ведомства и комитет начальника штабов).

Модели поля боя или театра военных действий относятся к межвидовым и являются интеграцией как реальных, так и смоделиро-

ванных (виртуальных) военных объектов и операций. Основные работы ведутся в США, Канаде, странах Западной Европы (Великобритании, Германии, Франции и др.). Например, Synthetic Theater of War Project, The Synthetic BattleBridge, Mission Rehearsal Exercise, Virtual Warrior Interactive, Close Combat Tactical Trainer, Combined Arms Tactical Trainer (один из самых крупных, затраты около \$400 млн, главный симуляционный зал имеет размеры 120×45 м, в нем могут размещаться 70 симуляторов единиц боевой техники, 16 симуляторов единиц техники общего назначения, 12 «пехотных» симуляторов, предусмотрена комната «расширения», одновременно могут «воевать» до 700 чел.).

Особое место уделяется совершенствованию существующих и разработке новых технологий моделирования, которые связываются с развитием таких ключевых направлений развития науки и технологий, как, например:

- высокопроизводительные вычисления;
- высокоскоростные компьютерные сети;
- визуализация;
- системы интерактивного погружения – виртуальной реальности, расширенная реальность/виртуальность, мультимодальный интерфейс и др.;
- распределенные системы моделирования.

По оценкам психологов и физиологов, качественный скачок в электронной деятельности, в том числе в военной области, связан с поддержкой непосредственного контакта с рабочей средой, ее полисенсорном восприятии, совместной работе с возможностью невербальной коммуникации, которые не могут обеспечить традиционные системы моделирования.

Для решения данных задач предлагается использовать концепцию виртуальных миров (ВМ), обеспечивающих погружение человека в заданную среду и его участие в событиях среды. По мере реализации и развития информационных и коммуникационных технологий ВМ должны стать новой технологией общения и сотрудничества между людьми, людьми и устройствами, реальными и виртуальными объектами.

Исследования и разработки в данной области носят междисциплинарный характер и наиболее интенсивно ведутся в США, Канаде, Европейском Сообществе, Японии. Технология ВМ активно используется, кроме военных областей, в образовании и науке, промышленности, культуре и искусстве, электронном туризме,

транспорте и медицине. В качестве аналогичных с точки зрения трудоемкости проектов можно привести виртуальные города и виртуальные предприятия (судостроение, авиация и др.) и т. п.

Первые опыты использования ВМ в России были предприняты коллективом специалистов из ведущих университетов и организаций Санкт-Петербурга в образовании во главе с ГУАП. По результатам многолетних научных исследований в 2000 г. была сформирована концепция создания ВМ как человекомашинного интерфейса нового поколения, разработаны модели и варианты архитектур ВМ, структур и режимов работы, средств доступа к ним, инструментария и программно-аппаратных средств реализации, основных областей применения. Для создания и эксплуатации МПБ уровня бригады предлагается технология ВМ, которая обеспечит погружение человека в рабочие сцены, отображающие функционирование компонентов военного назначения, и интерактивное взаимодействие человека с объектами этой рабочей сцены в реальном масштабе времени с учетом характеристик человека и военных систем. Это позволит:

- повысить эффективность приобретения индивидуальных и коллективных знаний и умений работы с робототехническими системами;
- учесть индивидуальные особенности восприятия и обработки информации человеком;
- повысить реалистичность и точность представления о процессах, выполняемых в космосе с помощью робототехнических систем;
- выполнять эксперименты и технологические процессы, реализация которых невозможна, требует в наземных условиях больших финансовых затрат или связана с высоким риском для экипажа;
- упростить анализ, проектирование, производство и тестирование создаваемых и эксплуатируемых с помощью робототехнических средств космических систем;
- сократить эксплуатационные расходы.

Виртуальный мир будет предоставлять следующие функциональные возможности:

- погружение в трехмерный аудиовизуальный мир с кинестетическими ощущениями (возможно – запахами) посредством одно- и многоэкранных настольных и проекционных (моно и стерео) систем, носимых устройств, аудиосистем и системы имитации нагрузок;

- передвижение в трехмерном мире с шестью степенями свободы и взаимодействие с его объектами при помощи клавиатуры, мыши, трекбола, джойстиков, перчатки, трекеров, микрофона, тренажеров;
- прямое манипулирование данными в пространстве модели;
- моделирование интеллектуального поведения с учетом физических законов реального мира;
- визуальную, голосовую, текстовую и невербальную коммуникации при их совместной работе;
- представление пользователя персонажем виртуальной среды;
- одно- и многопользовательский доступ к виртуальной среде;
- адаптивную навигацию, а также персонализацию интерфейса;
- локальное, сетевое и комбинированное исполнение.

Предполагается использование следующих аппаратных средств для увеличения степени погружения и интерактивности ВМ (табл. 4.7).

Таблица 4.7

Характеристики		Классы установок		
		Настольные	Настенные	Носимые
1	Погружение	Трехмерный аудиовизуальный мир с шестью степенями свободы и кинестетическими ощущениями (+ запахи)		
	Видео: моно стерео/очки	Экран стандартного монитора Три монитора на базе ПК-кластера	Одноэкранные (на 3 – 5 чел., один из которых – навигатор) 2-, 3-, 4-экранные для создания панорамных (на 25–30 чел.) и комнатных (типа CAVE, на 3 – 5 чел.) систем на базе ПК-кластера	Шлем
	Аудио	Аудиосистема (моно, стерео и dolby sur)		Наушники (стерео)
	Кинестетика	Система имитации нагрузок		
2	Интерактивность	Передвижение в трехмерном мире с шестью степенями свободы, взаимодействие с объектами, реагирование на воздействия		
	Ввод Прямое манипулирование Отслеживание положения Тренажеры	Клавиатура, мышь, трекбол, джойстик Перчатки, микрофон Трекеры Роботы, манипуляторы, ТС и т. п.		

Интерактивная эксплуатационная документация (ИЭД) предназначена для:

- обеспечения справочными материалами и обучения личного состава штабов и экипажей правилам эксплуатации, обслуживания и ремонта военных объектов;

- обеспечения справочным материалом об устройстве и принципах работы ВО, технологии выполнения операций, потребности в необходимых инструментах и материалах, количестве и квалификации персонала;

- планирования и учета проведения регламентных работ;

- диагностики оборудования и поиска неисправностей;

- обмена данными между экипажем и персоналом центров дистанционного управления.

Использование ИЭД на основе ВМ позволит улучшить:

- качество обслуживания и материально-технического обеспечения процесса обслуживания ВО;

- качество и оперативность обучения, переучивания и тренажа персонала, в том числе на рабочем месте;

- способность представления сложной информации оператору системы;

- поддержку процессов удаленного обслуживания при возникновении нештатных ситуаций.

Использование предлагаемых технологий разработки ИЭД обеспечит:

- сокращение времени и затрат на разработку, ее обновление и сопровождение;

- повышение качества разработки.

Будет разработана следующая архитектура ИЭД (табл. 4.8)

Особенностями создаваемых ИЭД являются:

- использование различных типов информации (текст, растровая и векторная графика, аудио, видео, анимации, 3D) с возможностью их нелинейного просмотра для представления интерактивной электронной документации и ее элементов (тексты, схемы, чертежи, рисунки, фотографии, модели и т. п.);

- ЭСО на базе стандартных браузеров – MS Internet Explorer, Firefox;

- возможность публикации на компакт-диске, в сети (Internet, Intranet) и на бумажных носителях;

- интеграция с PDM, CAD и др. системами для автоматизированного ввода исходных данных;

- возможность реализации обобщенной архитектуры;
- предоставление возможности участия заказчика в разработке на различных этапах ее создания;
- поддержка методологии создания на основе сценариев выполняемых технологических процессов;
- автоматизированное кодирование модулей и их хранение в централизованной или распределенной БД;
- поддержка коллективной разработки;
- возможность разработки параллельно с созданием изделия;
- поддержка БД версий и проектов, а также изменений и сопровождения;
- возможность защиты данных;
- открытость технологий, программ и данных;
- многоплатформенность – MS Windows, Linux, QNX, Mac OS.

Таблица 4.8

Состав	Режим работы	Режим доступа
1. Интерфейс 2. Основные подсистемы: – информационная; – каталог частей; – практикум; – аттестация 3. Вспомогательные подсистемы: – поиск; – помощь; – версии	1. Справочный 2. Сценарные: – изучение; – тестирование; – тренаж; – эксплуатация; – регламентные работы; – ремонт; – МТО 3. Вспомогательные: – поиск; – помощь	1. Индивидуальный 2. Групповой. 3. Многопользовательский: – свободный; – совместный

Моделирование поля боя позволяет более эффективно решать следующие задачи:

- 1) планирование, поддержка и оценка эффективности действий воинских формирований при самостоятельных, совместных и объединенных операциях видов и родов сил на поле боя, отработка новых тактических приемов и нормативов;
- 2) оценка новых концепций строительства вооруженных сил, оптимизации их структуры и боевого применения, потребностей в ВВТ и планирования бюджетного финансирования;
- 3) испытания и оценка приоритетности разработки новых образцов ВВТ и закупки существующих;

4) тыловое обеспечение (структура, переброска войск и грузов и т. п.);

5) оперативная и боевая подготовка, обучение личного состава.

6) обеспечение жизнедеятельности личного состава;

7) оценка новых вызовов: миротворческие операции, борьба с терроризмом и наркобизнесом и др.

Системы МПБ являются основой так называемых сетецентрических систем управления войсками. 23 июня 2009 г. министр обороны США Роберт Гейтс подписал приказ о создании кибернетического командования – структуры, ответственной за безопасность военных информационных сетей. Американская концепция «сетецентрической войны» подразумевает превращение вооруженных сил США в единый гигантский разведывательно-ударный комплекс, где все связаны со всеми линиями передачи информации и находятся в едином информационном пространстве. Это позволит постоянно отслеживать оперативную обстановку и немедленно принимать решения. Но в этой системе не решены задачи оптимального соотношения самоорганизации и внешнего управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выше были рассмотрены уже разработанные системы роботизации автомобиля. Перед нами в России стоит задача, во-первых, освоение мировых и европейских стандартов и их практическое внедрение, во-вторых, разработка новых средств роботизации автомобиля, оснащение его визуальными системами разного уровня, средствами контроля, системами для поддержки принятия решений водителем и системами экстренного спасения. Весь комплекс научно-технических разработок в области робототехники в настоящее время востребован в автомобилестроении.

Первые манипуляторы с дистанционным управлением были созданы в нашей стране для атомной промышленности – без них нельзя было работать с радиоактивными веществами. 1 октября 1946 г. приказом директора ГСПИ-11 (теперь это ВНИПИЭТ) в Ленинграде А. И. Гутова был создан специальный отдел по разработке дистанционных манипуляторов и его начальником был назначен А. П. Белов. Уже в 1947 г. «механические руки» РМ-1 были продемонстрированы в Кремле, получили высокую оценку, и в 1948 г. было налажено их серийное производство. Эти роботы непрерывно совершенствовались, всего было выпущено свыше 1500 дистанционных манипуляторов с очувствлением. Механические руки ковали и куют ядерный щит нашей страны. За разработку уникальной техники и механизмов А. П. Белову была присуждена Ленинская премия.

Если исходить из известного нам, сначала возникли люди, которые своим воображением породили аватаров в искусстве и др., потом возникли условия для появления роботов. Первый подводный робот с управлением от ЭВМ был построен в 1968 г. усилиями Института океанологии, ЛПИ и ЛИАП. Сейчас уже существуют семейства летающих роботов – аэробов, имитации домашних животных (японский робот AIBO), развиваются бытовые роботы для дома, роботы для рекламы и др. Беспилотные летающие аппараты превратились в важный вид вооруженных сил. Автомобили, самолеты и корабли после внедрения внешнего управления превратятся в роботов.

Итак, как было показано выше, роботы, аватары и люди – это сущности одного порядка, отличающиеся лишь объемом структурированной неопределенности. Эти сущности взаимодействуют как между собой, так и с другими системами через единую среду – апей-

рон. Эволюция этих сущностей определяется прохождением через зону адаптационного максимума и умением удержаться в этой зоне в потоке перемен. Современным аналогом апейрона являются глобальные вычислительные сети.

ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ РЕФЕРАТОВ И ДИПЛОМНЫХ РАБОТ

1. Основная профессиональная задача и миссия специалиста по информатике и вычислительной технике.
2. Эволюция архитектуры ЭВМ и тенденции развития.
3. Эволюция элементной базы.
4. Нейрокомпьютинг.
5. Квантовые компьютеры.
6. Эволюция устройств ввода-вывода.
7. Системы речевого общения.
8. Системы виртуальной реальности на примере кибервелосипеда.
9. Эволюция операционной среды.
10. Основные этапы развития кибернетики и информатики.
11. Бионика и артоника.
12. Эволюция уровня знаний.
13. Эволюция интерфейса общения.
14. Языки естественные и искусственные.
15. Эволюция систем коммуникации.
16. Система ARPANET.
17. Лингво-комбинаторное моделирование.
18. Феномен адаптационного максимума в развивающихся системах.
19. Объединение в коллектив как способ адаптации.
20. Психометрический интеллект.
21. Левостороннее мышление.
22. Правостороннее мышление.
23. Архитектура виртуальных миров.
24. Искусственный интеллект: психологические предпосылки и современное развитие.
25. Эвристический поиск.
26. Представление знаний.
27. Машинное обучение на основе социальных и эмерджентных принципов.
28. Проблема понимания естественного языка.
29. Основы теории агентов.
30. Многоагентные системы.
31. Искусственный интеллект как эмпирическая проблема.
32. Виртуальные организации и миры.
33. Структура человеческой деятельности и проблема ее автоматизации.

34. Эволюция систем передачи информации.
35. Основной социокультурный цикл и ЭВМ.
36. Цикл печатного сообщения и ЭВМ.
37. Цикл изобразительного сообщения и ЭВМ.
38. Цикл музыкального сообщения и ЭВМ.
39. Словарь, культура и ЭВМ.
40. Простейшие элементы культуры и ее объем.
41. Паттерны объектно-ориентированного проектирования.
42. Порождающие паттерны.
43. Структурные паттерны.
44. Паттерны поведения.
45. Информационно-вычислительные системы в авиации.
46. Информационно-вычислительные системы для управления транспортом в большом городе.
47. Информационно-вычислительная система автомобиля.
48. Проблема создания базы на Луне.
49. Моделирование Вселенной. Исторический обзор моделей Вселенной.
50. Моделирование погоды. Исторический обзор моделей предсказания погоды. Пределы точности предсказания погоды.
51. Модели сознания и искусственный интеллект. Исторический обзор моделей сознания. Пределы точности предсказания поведения человека. Свобода воли. Неопределенность. Поведение человека в толпе. Манипуляция сознанием.
52. Моделирование человеческого организма для поддержки врачебных решений. Исторический обзор моделей организма. Пределы точности моделирования организма.
53. Электронный паспорт здоровья на основе компьютерной модели организма. Электронная подпись врача. Сохранение врачебной тайны.
54. Моделирование города для поддержки управленческих решений. Исторический обзор моделей города. Город как самоорганизующаяся система. Нужна ли городу система управления? Депрессивные и процветающие города.
55. Моделирование предприятия для поддержки управленческих решений. Исторический обзор моделей предприятия. Банкротство предприятий и их процветание.
56. Моделирование деятельности банка. Исторический обзор моделей финансовой деятельности. Алхимия финансов Сороса. Разорение и процветание банков.

57. Нанотехнологии. О необходимых и достаточных условиях синтеза нанороботов.
58. Моделирование проблемы освоения Луны.
59. Моделирование робота-полицейского.
60. Моделирование игры в футбол команд роботов.
61. Информационно-вычислительная система шестиногой шагающей машины для спортивных соревнований на пересеченной местности.
62. Информационно-вычислительная система робота для диагностики газопровода.
63. Система регулирования уличного движения на основе мобильной телефонии.
64. Система управления полетами в районе аэропорта – виртуальная башня.
65. Система наблюдения за территорией на государственной границе на основе привязного аэростата.
66. Вычислительная система перевода устной речи с одного языка на другой язык в реальном времени на основе мобильной телефонии.
67. Вычислительная система КИБЕРВЕЛО для соревнований
68. Панорама Второй мировой войны и битвы за Ленинград (центр памяти, ситуационная комната, интерактивные залы воспоминаний, путешествие в прошлое, в блокаду на трамвае и др.).
69. Панорама Отечественной войны 1812 г. Интерактивная панорама истории лейб-гвардии Конного полка, который участвовал в сражениях при Аустерлице, Бородино, брал Париж. (Здание ГУАП по Большой Морской улице, 67 раньше было казармами лейб-гвардии Конного полка, что нас обязывает не забывать историю.)
70. Авиационный тренажер последнего поколения.
71. Моделирование автодрома.
72. Моделирование высокоточной системы залпового огня.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Архитектура виртуальных миров: монография. 2-е изд./Кол. авторов; под науч. ред. М. Б. Игнатъева, А. В. Никитина, А. Е. Войскунского. СПб.: ГУАП, 2009. 288 с.
2. Волкова В. Н. Концепции современного естествознания: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 2009. 286 с.
3. Игнатъев М. Б. Информационные технологии в микро-, нано- и оптоэлектронике: монография. СПб.: ГУАП, 2008. 200 с.
4. Информатика для устойчивого развития: сб. ст./Под ред. М. Б. Игнатъева и М. А. Вуса/СПбОИТЭ. СПб.: Полиграф экспресс, 2009. 194 с.
5. История информатики и кибернетики в Санкт-Петербурге (Ленинграде). Вып. 1/Под ред. Р. М. Юсупова. СПб.: Наука, 2008. 356 с.
6. Системный анализ и принятие решений: словарь-справочник; учеб. пособие для вузов/Под ред. В. Н. Волковой и В. Н. Козлова. М.: Высш. шк., 2004. 616 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

7. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М.: Физматгиз, 1963. 702 с.
8. Мерло-Понти М. Феноменология восприятия. Феноменология языка. СПб.: Ювента; Наука, 1999. 608 с.
9. Михайловский В. Н., Хон Г. Н. Диалектика формирования современной научной картины мира. Л.: Наука, 1989. 198 с.
10. Степин В. С. Теоретическое знание. М.: Наука, 2003. 784 с.
11. Моль А. Социодинамика культуры. М.: Мысль, 1973. 496 с.
12. Лейбниц Г. В. Монадология. Сочинения. М.: Наука, 1982. Т. 1. 860 с.
13. Деррида Ж. Письмо и различие. СПб.: Ювента, 2000. 420 с.
14. Цуккер А. Пять лет Персимфанса. М.: Гудок, 1927. 66 с.
15. Игнатъев М. Б. Головные автоматические системы/АН СССР. М.; Л., 1963. 204 с.
16. Игнатъев М. Б., Кулаков Ф. М., Покровский А. М. Алгоритмы управления роботами-манипуляторами. 3-е изд. Л.: Машиностроение, 1977. 248 с.
17. Игнатъев М. Б., Мясников В. А., Покровский А. М. Программное управление оборудованием. 2-е изд. Л.: Машиностроение, 1984. 540 с.
18. Ястребов В. С., Игнатъев М. Б., Кулаков Ф. М., Михайлов В. В. Подводные роботы. Л.: Судостроение, 1977. 368 с.
19. Игнатъев М. Б., Клауз Л. П. Человек и робот: сценарий науч.-поп. фильма, 1980.
20. Игнатъев М. Б., Ильевский Б. З., Клауз Л. П. Моделирование системы машин. Л.: Машиностроение, 1986. 304 с.

21. *Игнатьев М. Б.* и др. Компьютерные игры. Л.: Лениздат, 1988. 168 с.
22. *Ignatiev M. B.* Simulation of Adaptational Maximim Phenomenon in Developing Systems: Proc. of the Intern. Simulation Technology Conf. SIMTEC'93. San Francisco, USA, 1993. P. 41–42.
23. *Ignatyev M. B.* et al. Global model of organism for decision making support: Proc. of the High Performance Computing Symp. HPC 2000/Ed. A. Tentner. Washington D.C., USA, 2000. P. 66–71.
24. *Ignatyev M. B.* Linguo-combinatorial method for complex systems simulation: Proc. of the 6th World Multiconf. on Systemics, Cybernetics and Informatics. Orlando, USA, 2002. Vol. XI. Computer science II. P. 224–227.
25. *Глазунов В. А.* Междисциплинарность робототехники. Самоорганизация, бифуркации, многокритериальность. М.: Прогресс-Традиция, 2002. 110 с.
26. *Игнатьев М. Б.* Вселенная как самоорганизующаяся система//Всерос. астрометрическая конф. «Пулково-2009»: Тез. докл. 2009. С. 19–20.
27. *Бейдер Р.* Атомы в молекулах. М.: Мир, 2001. 450 с.
28. *Игнатьев М. Б.* Самоорганизующиеся робототехнические системы и игра в футбол//Первая Междунар. конф. по механотронике и робототехнике: Сб. тр./ГУАП. СПб., 2000. Т. 2. С. 127–131.
29. *Игнатьев М. Б.* Семиблочная модель города для поддержки принятия решений//Компьютерные модели развития города: Тр. семинара. СПб.: Наука, 2003. С. 40–45.
30. *Игнатьев М. Б.* Лингво-комбинаторное моделирование плохо формализованных систем//Информационно-управляющие системы. 2003. № 6. С. 34–37.
31. *Игнатьев М. Б.* Новая модель атома с блоком управления//Устойчивость и управление для нелинейных трансформируемых систем: Тез. докл. Второй Междунар. конф. М.: Сокол, 2000. С. 15–17.
32. *Игнатьев М. Б.* Лингво-комбинаторная картина мира и познание реальности//Фундаментальные проблемы естествознания и техники: Тр. конгресса-2002. Сер. Проблемы исследования Вселенной. СПб.: Наука, 2002. Вып. 25. С. 117–128.
33. *Игнатьев М. Б., Тихомиров М. Е.* Внешнее управление самолетами и проблемы измерения//Вестник Северо-Западного филиала Метрологической академии/ВНИИМ. СПб., 2004. Вып. 12. С. 51–66.
34. *Дмитриев В. И.* О методах решения обратных задач//Вестник МГУ. Сер. 15. Вычислительная математика и кибернетика. 2001. № 4. С. 3–7.
35. *Игнатьев М. Б.* Роботы, аватары и люди как системы со структурированной неопределенностью//Новое в искусственном интеллекте: Сб./МИРЭА. М., 2005. С. 75–85.
36. *Игнатьев М. Б.* Робототехника и искусственный интеллект: Докл. в Институте системного анализа 21 апреля 2005 г.
37. *Ignatyev M.* The study of the adaptational maximum phenomenon in complex systems//Seven Intern. Conf. on Computing Anticipatory Systems

- НЕС – Ulg. Abstract book/Ed. Daniel M. Dubois. Liege, Belgium, August 8–13, 2005. Simp. 2. P. 18.
38. *Воронов А. А.* и др. Цифровые аналоги для систем автоматического управления/АН СССР. Л., 1960. 196 с.
39. *Мальцев А. И.* Алгоритмы и рекурсивные функции. М.: Физматгиз, 1965. 420 с.
40. *Игнатъев М. Б.* О совместном использовании принципов введения избыточности и обратной связи для построения ультраустойчивых систем//Тр. III Всесоюз. совещания по автоматическому управлению/АН СССР. М., 1968. Т. 1. С. 55–71.
41. *Игнатъев М. Б.* Метод избыточных переменных для функционального кодирования цифровых автоматов//Теория автоматов: Сб./ИК АН УССР. Киев, 1969. № 4. С. 3–9.
42. *Игнатъев М. Б.* О лингвистическом подходе к анализу и синтезу сложных систем//Техническая кибернетика: Тез. межвуз. науч.-техн. конф./МВТУ. М., 1969. С. 31–39.
43. *Игнатъев М. Б.* Избыточность в многоцелевых системах//Тр. IV симп. по проблеме избыточности/ЛИАП. Л., 1970. С. 20–35.
44. *Бритов Г. С., Игнатъев М. Б., Мироновский Л. А., Смирнов Ю. М.* Управление вычислительными процессами. Л.: Изд-во ЛГУ, 1973. 206 с.
45. *Glushkov V., Ignatyev M., Miasnikov V., Torgashev V.* Recursive machines and computing technology: Proc. IFIP-74, computer hardware and architecture, Stockholm, August 5–10, 1974. P. 65–70.
46. *Игнатъев М. Б., Мясников В. А., Торгашев В. А.* Рекурсивные вычислительные машины: Препринт № 12//ИТМ и ВТ АН СССР. М., 1977. 36 с.
47. А. с. № 4844562 СССР. Ассоциативное запоминающее устройство/Игнатъев М. Б., Кисельников В. М., Торгашев В. А., Смирнов В. Б. Оpubл. 1975. Бюл. № 34.
48. А. с. № 814118 СССР. Процессор с микропрограммным управлением/Бекасова А. А., Горбачев С. В., Игнатъев М. Б., Мясников В. А., Торгашев В. А. Оpubл. 18.10.1979.
49. А. с. № 962965 СССР. Многопроцессорная вычислительная система/Горбачев С. В., Игнатъев М. Б., Кисельников В. М., Мясников В. А., Торгашев В. А. Оpubл. 1982. Бюл. № 36.
50. *Игнатъев М. Б., Мясников В. А., Фильчаков В. В.* Организация вычислительного процесса при решении прикладных задач на многопроцессорной системе с рекурсивной организацией//Кибернетика/АН УССР. 1984. № 3. С. 30–37.
51. Рекурсия//Мат. энцикл. М., 1984. Т. 4. С. 962–966.
52. *Мясников В. А., Игнатъев М. Б., Кочкин А. А., Шейнин Ю. Е.* Микропроцессоры – системы программирования и отладки. М.: Энергоатомиздат, 1985. 272 с.
53. *Горбачев С. В., Игнатъев М. Б., Шейнин Ю. Е.* Рекурсивные ЭВМ массового применения//Тез. II Всесоюз. конф. по актуальным проблемам

- информатики и вычислительной техники/АН Армянской ССР. Ереван, 1987. С. 14–24.
54. *Игнатьев М. Б., Комора Я.* Обобщенная параметрическая модель реализации локально-рекурсивных структур в трехмерных интегральных схемах//Докл. АН СССР. 1991. Т. 320. № 5. С. 1058–1062.
55. *Игнатьев М. Б., Фильчаков В.В., Осовецкий Л. Г.* Активные методы обеспечения надежности алгоритмов и программ. СПб.: Политехника, 1992. 288 с.
56. *Игнатьев М. Б.* Лингво-комбинаторное моделирование плохо формализованных систем//Информационно-управляющие системы. 2003. № 6. С. 34–37.
57. *Яновская С. А.* Методологические проблемы науки. М.: Наука, 1972. 296 с.
58. *Суворова П. Г.* Диалектика абстрактного и конкретного в понятии «архитектура ЭВМ»//Новые идеи в философии науки и научном познании: Сб./Ред. Ю. И. Мирошников. Екатеринбург, 2002. С. 12–28.
59. *Аладова Т. Е., Игнатьев М. Б., Шейнин Ю. Е.* Распределенный монитор для отладки программного обеспечения мультипроцессорных систем//Микропроцессорные средства и системы. 1990. № 5. С. 49–56.
60. *Gorbachev S., Gontcharova E., Ignatiev M., Sheynin Y.* Distributed High Performance Computing Over ATM Networks: Proc. of the High Performance Computing (HPC '98), ASTC'98 Conf., Boston, USA, April 1998. P. 216–221.
61. *Игнатьев М. Б., Шейнин Ю. Е.* 25 лет со времени создания рекурсивной вычислительной машины высокой производительности и надежности и проблемы параллельных вычислений: Докл. на пленарном заседании 23-й Междунар. конф. по школьной информатике и проблемам устойчивого развития, СПб., 16 апреля 2004 г.
62. *Замятин А. Ю., Игнатьев М. Б., Никитин А. В., Шиян В. К.* Проблемы информатизации регионов России на основе многослойного Интернета//Интернет нового поколения – IPv6: Тез. докл. III Междунар. конф., М., 24–26 ноября 2004 г./ИПС РАН. 2004. С. 33–38.
63. *Захаров В. Н.* Виртуализация как информационная технология//Системы и средства информатики: Сб./ИПИ РАН. М., 2006.
64. Виртуалистика – экзистенциальные и эпистемологические аспекты. М.: Прогресс-Традиция, 2004. 384 с.
65. *Игнатьев М. Б.* Философские вопросы компьютеризации и моделирования//XXVII съезд и актуальные задачи совершенствования работы философских (методологических) семинаров: Тез. докл. межресп. симп./АН СССР. Л., 1987. С. 31–39.
66. Программа действий на 21 век. Документы конференции в Рио-де-Жанейро/Сост. М. Китинг. Женева, 1993. 98 с.
67. Большая советская энциклопедия: В 30 т. М., 1970–1978.
68. *Игнатьев М. Б., Королев В. В., Кроль А.* Виртуальные образовательные среды//Педагогическая информатика. 2004. № 2. С. 73–81.

69. *Игнатъев М. Б.* Об управлении в многопроцессорных структурах// Вычислительные процессы и структуры: Сб./ЛЭТИ-ЛИАП. Л., 1978. Вып. 121. С. 5–20.
70. *Игнатъев М. Б., Никитин А. В., Решетникова Н. Н., Смирнов Ю. М.* Всероссийская виртуальная кафедра по специальности 22.01 «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети»/ГУАП. СПб.; М., 1999. 25 с.
71. *Игнатъев М. Б.* На виртуальной стройке века//Российская газета. 1999. 8 дек.
72. *Игнатъев М. Б., Никитин А. В., Оводенко А. А.* Петровские традиции и новые информационные технологии в образовании//Педагогическая информатика. 2003. № 2. С. 59–67.
73. *Князева Е. Н., Курдюмов С. П.* Основания синергетики. Человек, конструирующий себя и свое будущее. М.: КомКнига, 2007. 232 с.
74. *Менский М. Б.* Человек и квантовый мир. Фрязино: Век2, 2007. 320 с.
75. *Пенроуз Р.* Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. Полный путеводитель//Институт компьютерных исследований. М.; Ижевск, 2007. 912 с.
76. *Грин Б.* Ткань космоса. Пространство, время и текстура реальности. М.: Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2009. 608 с.
77. *Майнцер К.* Сложносистемное мышление: Материя, разум, человечество. Новый синтез. М.: Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2009. 464 с.
78. *Игнатъев М. Б.* Компьютеризм: Программа 29-й Междунар. конф. по школьной информатике и проблемам устойчивого развития, СПб., 23–24 апреля 2010 г./ГУАП. СПб., 2010. С. 83–84.
79. Робототехника. Взгляд в будущее//Тр. Междунар. науч.-техн. семинара. СПб.: Политехника-сервис, 2010. 284 с.
80. *Игнатъев М. Б.* О необходимых и достаточных условиях синтеза нанороботов // Докл. АН. 2010. Т. 433. № 5. С. 613–617.

К ИСТОРИИ АВИАЦИОННЫХ БОРТОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Р. А. Шек-Иовсепянц, Ю. И. Сабо, Б. В. Уткин

Необходимость управления подвижными объектами в изменяющихся условиях привела к появлению бортовых вычислительных систем. Бортовые системы прежде всего появились на самолетах и ракетах, потом они появились на морских кораблях, в настоящее время формируются бортовые вычислительные системы для автомобилей и роботов.

В приводимых ниже материалах использованы знания, накопленные и опубликованные известными специалистами ФГУП «Санкт-Петербургское ОКБ «Электроавтоматика» им. П. А. Ефимова» Р. А. Шек-Иовсепянцем, Ю. И. Сабо и Б. В. Уткиным более чем за 40 лет своей работы в указанной области. История появления и развития авиационных БЦВМ представлена на примере разработок, проводимых, начиная с конца 50 – начала 60-х гг. XX в., в ФГУП «Санкт-Петербургское ОКБ «Электроавтоматика» им. П. А. Ефимова» (здесь и далее приводится современное наименование предприятия) и ведущихся по настоящее время.

Такое решение принято на основании нескольких обстоятельств:

– попытка привести в одном труде полную историю развития авиационных БЦВМ со всеми ее ветвями и фирмами-исполнителями практически невозможна по понятным причинам;

– работы по созданию в ОКБ «Электроавтоматика» БЦВМ можно считать достаточно типовыми для всего направления, так как базировались на общих источниках: элементной базе, разрешенной для изделий военного применения, технологическом уровне, достигнутом в стране, активным взаимодействием разработчиков. Разница заключалась, главным образом, в масштабах проводимых работ, ибо в ОКБ «Электроавтоматика» для этих целей выделялись значительные ресурсы;

– ОКБ «Электроавтоматика» в течение длительного времени приказом министра авиационной промышленности было назначено головным предприятием отрасли по БЦВМ;

– для серийного выпуска разработанных БЦВМ к предприятию были прикреплены два серийных завода – один действующий завод в г. Уфе и специально построенный – в г. Чебоксары. Таким образом, все разработки БЦВМ оперативно переходили на серийное производство.

В последующем тексте неоднократно упоминаются поколения БЦВМ, а при рассмотрении второго – четвертого поколений – также и их генерации.

Под понятием поколений БЦВМ (нередко понятие «поколение» заменяется термином «семейство», что в меньшей степени отражает семантическую сторону термина) подразумеваются разработки последних, объединенные однотипной основной элементной базой (логической, памяти, интерфейсов, источников вторичного питания) примерно одного внутритипового уровня интеграции, а также симметричными по отношению к элементной базе коммутирующими соединительными элементами конструкций (платами). Общие конструкторские решения, как правило, едины для всех представителей поколения.

Каждое последующее поколение БЦВМ использует более совершенную элементную базу во всех своих основных устройствах и более совершенные соединительные (коммутационные) платы. Можно утверждать, что более совершенная элементная база для успешной реализации своих возможностей требует и более совершенную коммутацию.

Поскольку «жизнь» каждого поколения длится, как правило, не один год, а техника и технология развиваются, то внутри одного поколения могут происходить и постепенно накапливаться различные усовершенствования. Для разграничения этих изменений вводится понятие генераций – составных частей поколений. Далее по тексту это будет продемонстрировано.

Внутри поколений различаются аппаратные и программные модификации, позволяющие в широких пределах изменять потребительские характеристики БЦВМ.

Иными словами, БЦВМ ОКБ «Электроавтоматика» изначально проектировались как условно открытые вычислительные системы. Условность была вызвана тем, что в 60 – 70-е гг. XX в. отсутствовали общие стандарты на конструкции модулей и блоков и интерфейсы (системные и пользовательские) и разработчики использовали стандарты и традиции своих отраслей (и предприятий). С ростом влияния государственных стандартов указанная выше условность постепенно уменьшалась.

Модифицируемость на программном уровне обеспечивалась легкой заменой специально выделенных блоков (на начальном периоде) или легкоъемных модулей (в дальнейшем).

Драматична история цифровых вычислительных машин. Их концептуальный облик был сформулирован еще в 30-е г. XIX в. английским ученым Чарльзом Бэббиджем, однако, уровень технологии того времени не дал возможности реализовать проект и первые промышленные образцы машин появились только в конце 40-х гг. XX в.

Вычислительные средства аналогового типа появились, в основном, в составе бортового оборудования самолетов в период Второй мировой войны и позднее (различные, причем многочисленные типы наземных моделирующих установок не рассматриваются во все), однако с 60-х гг. XX в. за относительно короткий срок были существенно потеснены БЦВМ поскольку последние обеспечивали более высокую точность решения задач, характеризовались большей универсальностью применения и обладали широкими логическими возможностями. Кроме того, БЦВМ отличались лучшей технологичностью при производстве и эксплуатации и большей динамикой развития.

Главная движущая сила этого прогресса – непрерывное и быстрое развитие авиации как в области инженерии, так и в области возлагаемых на ЛА задач.

Другой стороной проблемы развития характеристик БЦВМ является технологический уровень проектирования и производства, достигнутый в обществе и определяющий реализуемость предлагаемых проектов.

Эти обстоятельства полностью определяют тенденции развития БЦВМ, причем на всех этапах их истории.

Дальнейшее развитие цифровых вычислительных машин длительное время определялось (в значительной степени определяется и сегодня) успехами микроэлектроники. При этом принципиальных изменений в архитектуре, определенной работами Бэббиджа и фон Неймана, не наблюдалось. Для бортовых самолетных ЦВМ (далее по тексту – БЦВМ), используемых, как правило, в сложных эксплуатационных условиях, влияние уровня технологии вообще и микроэлектроники в частности еще заметнее.

В 60 – 70-е гг. XX в. ряд НИИ и приборостроительных КБ Министерства авиационной промышленности (ГосНИИАС, НИИП, МИЭА, ОКБ «Электроавтоматика») и министерства радиопромышленности (НИЦЭВТ, «Ленинец», ВНИИРА, НПО Вега, МНИИ

«Агат») и ряд других предприятий начали разработку БЦВМ, большинство из которых практически не были востребованы. Исключение составила БЦВМ «Пламя-ВТ» (НИИ-17 Минрадиопрома, ныне – НПО «Вега»), которую можно рассматривать как прообраз БЦВМ ОКБ «Электроавтоматика», а также работы НИЦЭВТ.К середине 60-х гг. XX в. определились два предприятия – ОКБ «Электроавтоматика» (Ленинград) и НИЦЭВТ (Москва), на три последующих десятилетия ставшие основными разработчиками БЦВМ авиационного применения.

Например, радиоэлектронные комплексы разрабатывались Минрадиопромом и оснащались БЦВМ, созданными в НИЦЭВТ, навигационно-пилотажно-прицельные комплексы, системы управления спецгрузами, индикации, контроля режимов авиадвигателей и др. разрабатывались Минавиапромом и оснащались БЦВМ, созданными в ОКБ «Электроавтоматика». Другие отрасли проектировали и выпускали свои БЦВМ

В конце XX – начале XXI в. на фоне резкого снижения объемов финансирования большинства государственных заказов Министерством обороны под патронажем Академии наук была предпринята попытка (третья по счету) унификации бортовых ЦВМ различного назначения. Работа, выполнявшаяся в рамках ЦКП «Интеграция СВТ», была осуществлена в НИИСИ РАН с привлечением ряда предприятий и с организацией производства в ОКБ «Корунд». Эти БЦВМ изначально проектировались как открытые системы со стандартными конструкторскими решениями и с использованием стандартных системных шин и интерфейсов. Таким образом, разработка фактически была сведена ее авторами к созданию оптимального ряда модулей, обладающего свойством расширения под новые задачи и новую элементную базу, всего было разработано более 100 модулей. БЦВМ, построенные на основе этой программы и получившие общее наименование «Багет», являются машинами 4 – 4+ поколения. Базовых моделей БЦВМ «Багет» более 30. Одновременно проводилась работа по созданию ОСРВ.

Работа успешно выполняется – спроектировано большое количество разнообразных модулей, из которых созданы образцы БЦВМ, нашедшие своих заказчиков [1].

Тем не менее, образование в стране свободного рынка (в т.ч. и в области вооружений) позволяет другим разработчикам БЦВМ в ряде случаев успешно конкурировать со своими работами перед потенциальными заказчиками.

Более позднее по срокам развитие БЦВМ 4-го поколения начинает приобретать некоторые своеобразные и интересные свойства, приближает последние к облику систем. Так, например, ЦВМ80-307XX содержит в своем составе три независимых канала процессор – память – интерфейс, ЦВМ80-400XX – два независимых канала процессор – память – интерфейс. Следует заметить, что эти определения носят несколько условный смысл, ибо БЦВМ по своему существу являются вычислительными системами, состоящими из ряда модулей, связанных стандартной шиной и взаимодействующих друг с другом по определенному алгоритму. Тем не менее, с годами степень их «системности» растет за счет появления новых выполняемых функций.

Тенденция многофункциональности приборов широко используется в бытовой технике: телефоны-фотоаппараты, офисные комбайны: принтер-копир-факс-сканер и т. п. Теперь этот принцип пришел в специальную технику. Ярким примером являются разнообразные цифровые экранные индикаторы, совмещенные с пультами управления комплексов и с БЦВМ. Все это возможно благодаря быстрому прогрессу элементной базы.

В последнем случае появляется определенная терминологическая неопределенность и термин БЦВМ становится недостаточным для определения изделия, не исключено появление в недалеком будущем новых наименований.

Сокращения и обозначения, принятые в тексте

БИС	– большие интегральные схемы
БЦВМ	– бортовые цифровые вычислительные машины
ВВС МО	– Военно-воздушные силы Министерства обороны
ВИП	– вторичный источник питания в БЦВМ
ВС	– вычислительная система
ЗУ	– запоминающее устройство
ИУП	– информационно-управляющее поле
КБО	– комплекс бортового оборудования
КПА	– контрольно-поверочная аппаратура (для БЦВМ)
ЛА	– летательный аппарат
НК	– навигационный комплекс
НПК	– навигационно-пилотажный комплекс
ОЗУ	– оперативное запоминающее устройство в БЦВМ
ОСРВ	– операционная система реального времени
ПВО	– противовоздушная оборона
ПЗУ	– постоянное запоминающее устройство в БЦВМ

ПЛМ	– программируемые логические матрицы
ПЛО	– противолодочная оборона
ПМО	– программно-математическое обеспечение
ПО	– программное обеспечение
ПрНК	– прицельно-навигационный комплекс
РВС	– реконфигурируемые вычислительные системы
РМП	– рабочее место программиста,
СБИС	– сверхбольшие интегральные схемы
СИС	– интегральные схемы со средним уровнем интеграции,
УАУ	– устройство управления и арифметики в БЦВМ
УВВ	– устройство ввода-вывода информации в БЦВМ
ЦКП	– целевая комплексная программа
ЭЗУ	– энергонезависимое запоминающее устройство в БЦВМ
G	– масса, [кг]
K	– $2^{10} = 1024$
P	– потребляемая мощность, [Вт]
T	– наработка на отказ, [ч]

Появление в составе ядерных ударных сил США атомных подводных лодок, вооруженных баллистическими ракетами типа «Поларис», потребовало от советской противолодочной обороны вынесения рубежей обнаружения и уничтожения подводных лодок-ракетоносителей на расстояние, превышающее дальность пуска их ракет.

При этом анализ задач, подлежащих при этом решению на борту самолетов ПЛО, показал практическую неперспективность использования для этой цели аналоговой вычислительной техники. Единственным выходом было в сжатые сроки, почти с нуля, выполнить проектирование бортового информационно-управляющего комплекса с БЦВМ в качестве центрального вычислительного и комплексирующего средства. В качестве самолетов-носителей были назначены самолеты Ил-38 и Ту-142 Генеральных конструкторов С. В. Ильюшина и А. Н. Туполева. Разработчиком комплекса стал Ленинградский НИИРЭ Минрадиопрома (далее – «Ленинец»), цифровую машину поручили Ленинградскому ОКБ-857 Минавиапрома (современное наименование – ФГУП «Санкт-Петербургское ОКБ «Электроавтоматика» им. П. А. Ефимова», далее по тексту – ОКБ «Электроавтоматика»).

Выбор ОКБ-857 был не случаен – ряд лет в нем успешно велось проектирование аналоговых вычислителей управления воздушной стрельбой для тяжелых самолетов Генеральных конструкторов

А. Н. Туполева, С. В. Ильюшина, О. К. Антонова, В. М. Мясичева и был накоплен опыт работы в области вычислительной техники.

Постепенное исчерпывание потенциальных возможностей аналоговой техники в профиле работ ОКБ неизбежно привело разработчиков к решению о переходе на дискретную вычислительную технику

У истоков этих работ находилась группа ведущих специалистов во главе с руководителем ОКБ-857 главным конструктором В. И. Ланердиным: В. С. Васильев, М. И. Шмаенок, С. Н. Гурьянов, И. Б. Вайсман, Л. П. Горохов, В. И. Хилько, О. А. Кизик, И. В. Куликов, Б. Е. Фрадкин и некоторые другие.

В качестве прототипа была выбрана ЦВМ «Пламя ВТ», разработка которой велась в НИИ-17 Минрадиопрома в отделе Главного конструктора Карманова.

На основании и вокруг этой работы в ОКБ-857 к 1960 г. был сформирован коллектив, который провел проектирование и выпуск в 1964 г. первых опытных образцов БЦВМ, при помощи которых могло начаться комплексирование бортовой аппаратуры, проводятся лабораторные и летные испытания.

Поэтому мы считаем этот год – 1964 – годом рождения первой отечественной авиационной БЦВМ. Главный конструктор этой БЦВМ – Виктор Иосифович Ланердин – руководитель ОКБ-857.

Очевидная задача разработчиков заключалась в создании унифицированной электрической схемы для ЦВМ обоих самолетов, общей элементной базы и легко модифицируемой конструкции.

Очень важной была задача создания минимально достаточной конструкторской и программной документации, ее универсальность. Контрольно-поверочная аппаратура также должна была создаваться как универсальная и соответствующая выбранной системе обслуживания БЦВМ на объекте.

Все вместе это может быть названо как формирование общей методологии проектирования, производства и применения БЦВМ, которые в это время были еще, практически, неизвестны ни раз-



*Ланердин Виктор Иосифович
Директор-Главный конструктор
ОКБ-857 (1954–1963 гг.)*



Самолет ПЛО Ил-38

работчикам, ни серийным заводам, ни эксплуатирующим организациям.

Отличительными свойствами первого поколения БЦВМ являлось использование в качестве элементной базы дискретных электрорадиоэлементов – других в этот период просто еще не было и двусторонних фольгированных гетинаксовых соединительных плат. Тем не менее, невзирая на трудности реализации, при проведении проектирования с самых первых шагов были сформулированы главные принципы проектирования, в числе которых здесь следует упомянуть жесткое внедрение принципа модульности аппаратуры ЦВМ и ее программного обеспечения. Следует особенно подчеркнуть, что это происходило в начале 60-х гг. прошлого века, что являлось необычным в отечественной практике. Отметим, что принцип модульности аппаратной части ЦВМ жестко выдерживался все последующие годы.

Для БЦВМ первого поколения принцип модульности выразился в представлении конструкции в виде нескольких типов модулей. Так, например, логическая часть состояла из двух типов печатных плат с расположенными на них элементами. В настоящее время модульность изделий является всеобщим принципом, однако 40–50 лет назад его использование было весьма спорным и даваемые преимущества неочевидны. Годы, прошедшие с тех пор, доказали правильность принятых тогда решений.

Первыми конкретными приложениями отмеченных выше работ явилось создание БЦВМ первого поколения ЦВМ-263 и ЦВМ-264 для двух вариантов авиационных поисковых радиогидроакустических систем, устанавливаемых на самолетах Генеральных конструкторов Ильюшина и Туполева (рис. 1 – 3). Эти БЦВМ имели



Самолет ПЛО Ту-142

очень близкие электрические схемы, но существенно отличались по компоновке своих устройств в связи с резко различными условиями их размещения на самолетах.

Все эти БЦВМ были машинами первого поколения, так как в качестве основной логической элементной базы использовались дискретные полупроводниковые приборы: диоды и транзисторы и односторонние печатные соединительные платы из фольгированного медью диэлектрика. Как мы видим, удалось миновать этап использования электронных ламп и сразу перейти на полупроводники. Это благотворно отразилось на ряде характеристик БЦВМ. Сразу же следует отметить, что работы по совершенствованию элементной базы продолжались постоянно, поэтому даже внутри одного типа БЦВМ образцы могли отличаться друг от друга. Естественно, что более поздние образцы были и более совершенными.

Основные характеристики этих БЦВМ:

- быстродействие 62 тыс. оп/с,
- ОЗУ 256 16-разрядных слов,
- ПЗУ 8К 16-разрядных слов,
- $T = 200$,
- $G = 330$,
- $P = 2000$.

Несмотря на внешнюю несхожесть, это были машины-сестры, в чем была большая заслуга их разработчиков В. И. Ланердина, О. И. Башнина, В. С. Васильева, В. А. Мазурина, И. Б. Вайсмана, Л. П. Горохова, Б. Е. Фрадкина, О. А. Кизика, С. А. Лукьянченко, Н. Т. Тренкина, А. Н. Крюкова, В. М. Яковлева, М. И. Шмаенка, Г. Я. Щучинской, Н. И. Манто, М. Д. Стрыгиной, П. Д. Аршанского, С. А. Гурьянова, А. П. Ганина и многих других.

Одновременно была спроектирована еще одна БЦВМ первого поколения для самоходного комплекса ПВО.

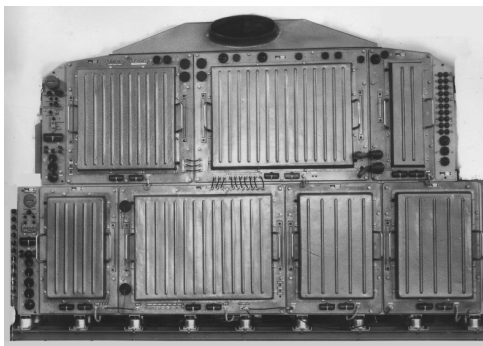
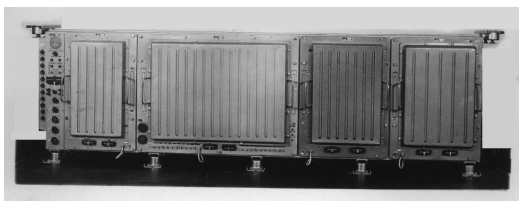


Рис. 1. Общий вид БЦВМ комплекса ПЛО самолета Ил-38



*Рис. 2. Общий вид БЦВМ комплекса ПЛО самолета Ту-142.
Вычислительный блок*



Рис. 3. Общий вид БЦВМ комплекса ПЛО самолета Ту-142. Блок связи

Комплекс представлял из себя независимую боевую мобильную группу, состоящую из самоходных пусковых установок с аналоговыми вычислителями наведения и из центрального управляющего самохода, несущего на себе радиолокационные станции кругового обзора и сопровождения. На этом самоходе располагалась БЦВМ, управляющая вычислителями пусковых самоходов.

БЦВМ предназначалась для обработки информации радиолокационной обзорной станции о воздушной обстановке в зоне действия

комплекса. В результате обработки этой информации БЦВМ должна была выделять цели на фоне помех, выбирать наиболее опасную цель, параметры движения которой передавались радиолокационной станции наведения и далее пусковым установкам.

Была произведена разработка документации опытных образцов, алгоритмы и программы их работы, были изготовлены и настроены два первых опытных образца. С некоторым опережением было проведено математическое и полунатурное моделирование в интересах отработки алгоритмов и исследования динамики работы комплекса. Общий вид БЦВМ совместно с контрольно-проверочной аппаратурой представлен на рис. 4.

1963 г. – год создания первой БЦВМ, действующей в полном диапазоне параметров окружающей среды. Парадоксом этого события явилось то, что первая бортовая БЦВМ, разработанная авиационным предприятием была предназначена для наземного применения. Тем не менее, опытные образцы были созданы, прошли все необходимые виды испытаний и были отгружены заказчику.

Значение этой работы состоит в том, что впервые был реализован полный цикл проектирования комплекса:

- концептуальный этап,
- создание бортового (мобильного базирования) цифрового вычислителя и его КПА,
- разработка ПО комплекса (алгоритмы, программы),
- определение номенклатуры и разработка полного комплекта конструкторской документации.

Тем не менее, был серьезно нарушен отработанный позднее и узаконенный ГОСТ цикл подобного проектирования, гарантирующий высокое качество проекта. Если с определенным усилием

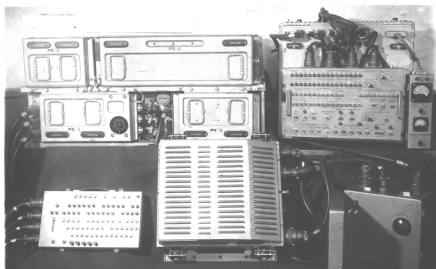


Рис. 4. Комплект БЦВМ совместно с КПА

можно представить реализованный концептуальный этап в качестве предпроектных исследований и технических предложений, то полностью отсутствовали эскизный и технический проекты и сразу была начата разработка рабочей документации.

Однако, несмотря на эти нарушения цикла проектирования, работа была выполнена и образцы комплекса (в т.ч. БЦВМ) изготовлены и испытаны.

В процессе дальнейшей практической отработки комплекс подвергся существенному упрощению, при котором с центрального самохода была удалена БЦВМ, реализующая автоматический режим, и работа комплекса предусматривалась только в полуавтоматическом режиме с участием оператора, обеспечивающего выбор цели и решение ряда других, в том числе логических, задач.

В этом случае в комплексе действовали только аналоговые вычислители, установленные на пусковых самоходных установках.

К сожалению, эта работа была прекращена до ее завершения в связи с изменением идеологии работы комплекса в целом. При новой идеологии БЦВМ становилась ненужной.

Первые удачные работы в области создания работоспособных образцов БЦВМ показали Генеральным конструкторам боевых самолетов и главным конструкторам бортовых систем возможность организации и проведения разработки нового типа бортового оборудования – бортовых цифровых управляющих комплексов, сердцем которых становились БЦВМ. Благодаря этим комплексам и головные объекты – в нашем случае самолеты и позднее – вертолеты, приобрели более высокие, ранее недостижимые тактико-технические свойства.

Следует отметить, что эти первые комплексы назывались еще системами, что являлось, главным образом, данью существующим традициям. Несмотря на консервативное определение, эти системы уже имели в своем составе все основные характерные части бортовых цифровых комплексов будущего: системы датчиков, приемников и исполнительных механизмов, вычислительную систему, систему индикации, систему связей – канал и, наконец, ПО.

В связи с большой потребностью в образцах БЦВМ и ее быстрым ростом, а также сложностью изготовления и высокой ответственностью обслуживания поставленных машин было необходимо уже на самых ранних этапах работы заботиться о подключении серийного производства. Такое производство было определено – им на многие годы стал Уфимский приборостроительный завод (УПЗ).

Уже в 1964 г. на УПЗ была передана первая партия конструкторской документации для серийного производства ЦВМ-263 и ЦВМ-264.

Вскоре для расширения фронта производства БЦВМ в Чебоксарах на берегу Волги началось строительство Чебоксарского приборостроительного завода (1965 – 1970 гг.).

Эти заводы за прошедшие годы выпустили многие тысячи комплектов БЦВМ, заводы многократно выросли, существенно расширили свою тематику, они действуют по настоящее время.

Всего силами опытного производства ОКБ-857 и серийного завода (УПЗ) было выпущено более 500 комплектов ЦВМ-263 и ЦВМ-264.

В эти годы (1964 г. и далее) востребованность БЦВМ была настолько велика, что, несмотря на начальный период разработки и внедрения их в бортовое оборудование, отсутствие опыта у разработчиков, совершенной элементной базы, отработанной технологии проектирования-производства-эксплуатации, ОКБ-857 пришлось принять заказы сразу на несколько БЦВМ:

- упомянутые выше БЦВМ для комплексов ПЛО самолетов Ил-38, Ту-142 и комплекса ПВО,
- БЦВМ системы точной навигации для самолета оперативной разведки МиГ-25,
- БЦВМ для системы самолета Су-24.

БЦВМ, созданные на основе дискретных полупроводников и односторонних печатных плат могли быть размещены только на таких больших самолетах, какими являлись Ил-38 и Ту-142. Для самолетов класса МиГ-25 и Су-24 они были слишком тяжелыми и большими.

Тем не менее, такая попытка была проделана – спроектирована и изготовлена БЦВМ для самолета МиГ-25, ее внешний вид представлен на рис. 5. Этот образец использовался для отработки связей



Рис. 5. Общий вид БЦВМ

в комплексе и программ, для самолета такая БЦВМ была недопустимо велика.

БЦВМ первого поколения, выполненные на дискретных элементах и типовых печатных платах, при всех своих значительных недостатках решили очень важную задачу – доказали свою перспективность для отрасли, встав на борт самолетов в центре первых отечественных цифровых управляющих комплексов. Необходимо было срочно решать следующие задачи.

Существенное снижение габаритных размеров, веса, потребляемой мощности, повышение надежности работы могло быть найдено на пути применения элементной базы с более высокой степенью интеграции полупроводников. Однако в эти годы отечественная электронная промышленность еще не могла предложить необходимые элементы и их пришлось создавать собственными силами.

Поэтому ОКБ «Электроавтоматика» в лаборатории основной логической элементной базы БЦВМ под руководством ее начальника Б. Е. Фрадкина совместно с технологами предприятия проводились поисковые работы по созданию микроминиатюрных элементов для БЦВМ второго поколения, получивших наименование – БЦВМ «Орбита» (далее по тексту – Орбита).

Сразу же следует отметить, что БЦВМ второго поколения (отличительная черта второго поколения БЦВМ – использование микромодулей в качестве конструктивно-технологического решения элементов основной логической базы) образовали две генерации: первая генерация Орбита-1 – на микромодулях собственного проектирования и производства ПИ-64 и ПИ-65 и вторая генерация Орбита-10 – на тонкопленочных гибридных микросборках Трапе-



Самолет МиГ-25

ция-3 разработки ОКБ-857 совместно с НИИТТ и производства завода «Ангстрем» (оба – г. Зеленоград).

Процесс изготовления динамических элементов ПИ-64 и ПИ-65 показан на рис. 6. Как отчетливо видно, электрорадиоэлементы первоначально фиксируются сваркой на параллельных токопроводящих шинах, которые далее соединяются с полихлорвиниловой (негорючей) кинолентой, служащей в качестве каркаса. Электрические схемы модулей образуются путем целенаправленной перфорации определенных мест токопроводящих шин.

В дальнейшем заготовки модулей сворачиваются в спираль и закрепляются на изолирующем основании с выводами для установки модулей на платах. Модули заливаются влагостойким лаком либо дополнительно изолируются компаундом. Возможны различные варианты этой влагозащиты. Применение новой технологии для динамических элементов значительно улучшило характеристики БЦВМ и дало возможность реализовать первую генерацию БЦВМ второго поколения – Орбита-1.

Машина была спроектирована как система конструктивно-функциональных модулей верхнего уровня, объединяемых общим стандартным системным интерфейсом и размещаемых на индивидуальных рамах. Наборы модулей определяли аппаратную модификацию БЦВМ, принадлежащую к конкретному комплексу. Варианты программ, загружаемых в запоминающие устройства этих модификаций, определяли программные модификации.

В связи со сказанным следует отметить два обстоятельства.

С одной стороны, такие системы, начиная с 80-х, 90-х гг. XX в. начали называть открытыми, так как они допускали интеграцию приборных модулей любого производителя при выполнении им нескольких принципиальных условий.



Самолет Су-24

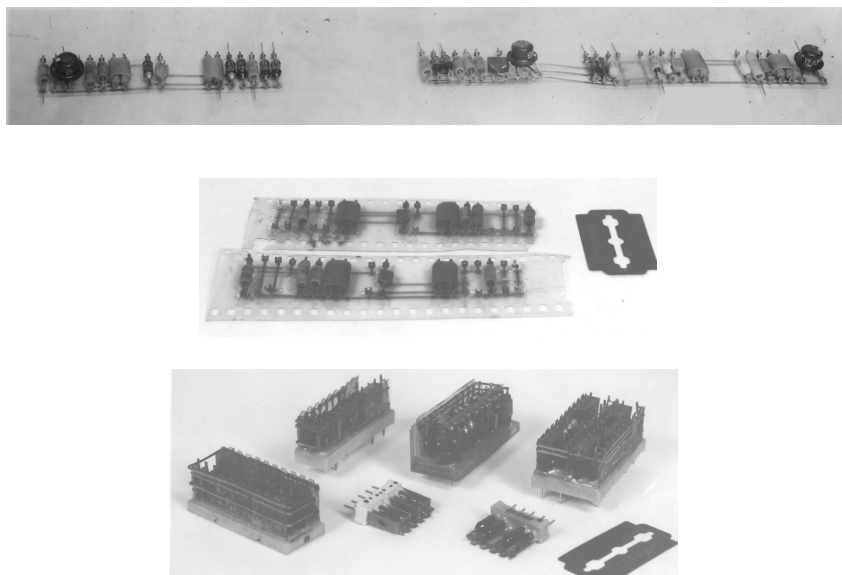


Рис. 6. Этапы изготовления модулей

С другой стороны, принципиальным является решение о создании для БЦВМ собственной логической элементной базы. Это было очень ответственное решение, так как любое несовершенство, допущенное при проектировании или производстве элементов, помноженное на массовость их применения в БЦВМ, могло привести к тяжелым последствиям. Тем не менее, пришлось принять это решение, ибо заказчик машин не мог ждать, а для внешних специализированных разработчиков элементной базы время еще не наступило.

С использованием указанной технологии в ОКБ было выполнено проектирование ряда БЦВМ для нескольких конкретных головных объектов:

- системы точной навигации для самолета МиГ-25;
- БЦВМ КБО для самолета Су-24;
- для навигационно-пилотажного комплекса сверхзвукового пассажирского самолета Ту-144.

Эти модификации представлены на рис. 7 – 9.

Документация на разработанные модификации БЦВМ была передана для серийного выпуска Уфимскому приборостроительному заводу.

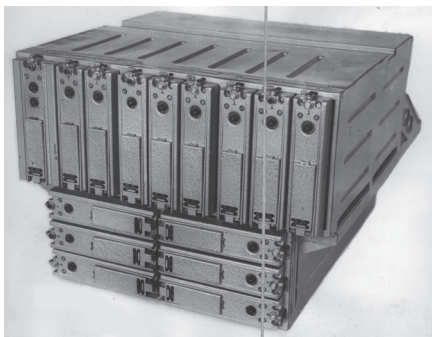


Рис. 7. Модификация БЦВМ Орбита-1 для самолета МиГ-25

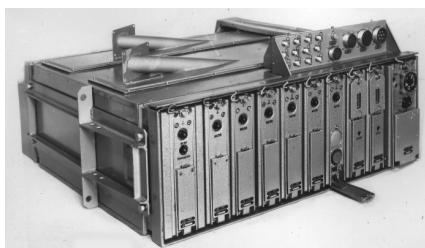


Рис. 8. Модификация БЦВМ Орбита-1 для самолета Су-24



Рис. 9. Модификация БЦВМ Орбита-1 для НПК самолета Ту-144

Одновременно рассматривался переход на БЦВМ Орбита-1 в комплексах ПЛО самолетов Ил-38 и Ту-142, использующих БЦВМ первого поколения на дискретных электрорадиоэлементах.

Всего было выпущено более 500 комплектов БЦВМ Орбита-1.

Микромодули, созданные на неспециализированном приборном предприятии не могли дать радикальных результатов по сниже-

нию весов и габаритов БЦВМ и увеличению надежности их работы, поэтому в 1966 г. инженерами ОКБ «Электроавтоматика» была проведена революционная с технической и организационной точек зрения работа по созданию для отечественных бортовых ЦВМ серийной микроминиатюрной элементной базы.

Предпосылки для этого этапа появились – в г. Зеленограде под Москвой полным ходом велось строительство ряда НИИ и заводов для проектирования и производства совершенной отечественной микроэлектроники. На эти возможности и, в частности, на начавший действовать НИИ точной технологии (НИИТТ) и завод «Ангстрем» были ориентированы указанные выше работы.

Разработанные элементы не содержали индуктивностей, трансформаторов и линий задержки и поэтому допускали изготовление в виде микромодулей. Так появилась серия микромодулей Трапеция-3 (5 типовых элементов), выполненных по гибридной тонкопленочной технологии. ТЗ на их конструирование были переданы НИИТТ в 1966 г. и уже в 1967 г. на заводе «Ангстрем» было освоено их серийное производство.

Внешний вид одной из микросхем серии Трапеция-3 и типовой логической платы приведен на рис. 10 и 11.



Рис. 10. Микросхема серии Трапеция-3 (сборка и со снятой крышкой)

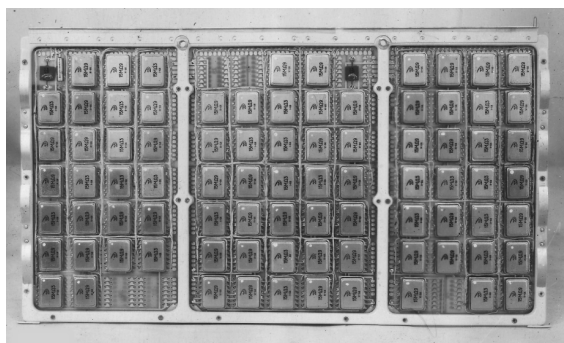


Рис. 11. Общий вид типовой логической платы БЦВМ Орбита-10 с установленными микросхемами Трапеция-3

Появление серийной логической элементной базы стало большим событием, так как позволило оперативно перейти к созданию второй генерации БЦВМ второго поколения – БЦВМ Орбита-10. Существенное снижение весов и габаритов этих машин окончательно утвердило ЦВМ на самолетах.

Более того, появилась возможность несколько отойти от жесткой экономии веса и ввести в состав БЦВМ некоторые важные структурные улучшения – были разработаны специальные множительное и делительное устройства, что позволило повысить производительность БЦВМ, также была введена возможность удвоения точности при вычислениях. Общий вид двух модификаций БЦВМ Орбита-10 приведен на рис. 12 и 13.

Появление на внутреннем рынке новых серийных элементов развязало руки разработчикам и как следствие появилось еще несколько модификаций БЦВМ Орбита-10.

Пример такого проектирования приведен на рис. 14, на котором изображена модификация БЦВМ Орбита-10 – машина для магистральных самолетов.

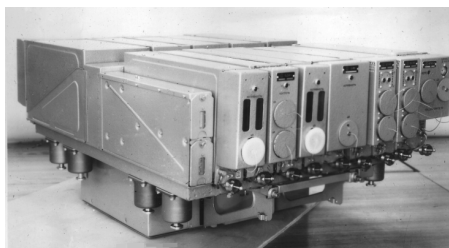


Рис. 12. Модификация БЦВМ Орбита-10 для самолета МиГ-25



Рис. 13. Модификация БЦВМ Орбита-10 для самолета Су-24



Рис. 14. Внешний вид БЦВМ Орбита-10 для магистральных самолетов

Работой этого же плана явилось создание еще одной аппаратной модификации БЦВМ Орбита-10 для применения в комплексах для самолетов ВВС Ту-22 и Ту-142 и сверхзвукового пассажирского самолета Ту-144. Во всех этих комплексах БЦВМ отличались только загруженной в них программой, аппаратная часть была всюду одинаковой.

Дополнительно была разработана еще одна модификация БЦВМ Орбита-10 – БЦВМ Орбита-10-15, которая явилась переходным звеном между большими и малыми модификациями БЦВМ. При ее проектировании максимально использованы уже существующие модули. В дальнейшем эта модификация широко применялась в комплексах самолетов фронтовой авиации или для увеличения вычислительной мощности в больших комплексах. Внешний вид этой БЦВМ приведен на рис. 15. Это была удачная разработка, и машина сразу же стала популярной и использовалась на ряде объектов в виде программных модификаций базовой БЦВМ.



Рис. 15. Внешний вид БЦВМ Орбита-10-15

Надо признать, что темп внедрения цифровой техники в самолетное оборудование был установлен руководством отрасли очень высоким – это диктовалось сложной международной обстановкой того периода. С другой стороны, сами бортовые БЦВМ были сложными и капризными электронными устройствами, да и опыта у их разработчиков, производителей и эксплуатантов было маловато. После электромеханических счетно-решающих устройств БЦВМ предъявляли на всех этапах своего создания, производства и эксплуатации гораздо более высокие требования.

По этим причинам как разработка, так и испытания и производство БЦВМ нередко осложнялись возникающими вопросами, которые было необходимо оперативно решать. В ряде случаев для этого приходилось собирать совещания с участием заказчика и руководства отрасли и ОКБ прямо на заводах-производителях.

Совместными усилиями ОКБ «Электроавтоматика», УПЗ и ЧПЗ было выпущено более 4000 комплектов БЦВМ Орбита-10 в виде четырех аппаратных и тринадцати программных модификаций.

1968 г. ознаменовался торжественным событием – после большого объема проведенных испытаний, в которых принимали активное участие и разработчики ЦВМ-264, был принят на вооружение самолет Ил-38. Учитывая большую эффективность нового средства ПЛО и сжатые сроки разработки, Правительство СССР наградило орденами и медалями большую группу участников этой работы из числа представителей промышленности и ВВС МО. Главному конструктору бортовой БЦВМ – В. И. Ланердину была присуждена Государственная премия СССР.

Несмотря на обширные работы, проводимые разработчиками и серийным производством, по-прежнему центральным вопросом развития бортовых БЦВМ являлся вопрос снижения веса и габаритов, а также повышения надежности и устойчивости работы изделия на реальном объекте.

В этот же период работы, проводимые на отечественных предприятиях микроэлектроники, а также мировой опыт определенно указывали на единственный путь развития и решения указанных выше проблем – максимальное использование твердотельной элементной базы.

Руководствуясь сложившейся ситуацией, в ОКБ «Электроавтоматика» была проведена работа, возглавляемая опытным специалистом Б. Е. Фрадкиным, при участии инженеров Н. Т. Тренкина, В. П. Киселева, Л. И. Могилевского, Е. М. Кадинова, А. М. Сте-



Группа представителей промышленности в Георгиевском зале Кремля по случаю вручения правительственных наград в связи с принятием на вооружение самолета Ил-38.

В том числе сотрудники ОКБ «Электроавтоматика»:

первый ряд – Л. В. Дискина (1), Л. С. Погодина (6), Е. Е. Хныкин (8).

Второй ряд – Д. К. Соловей (1), Р. А. Шек-Иовсеянц (2), Ю. П. Дядюченко (3), В. Ф. Соболев (4), В. М. Яковлев (5), Л. П. Горохов (12).

Третий ряд – А. И. Андерсон (1).

Четвертый ряд – Д. Л. Жаржавский (1), О. А. Кизик (2), Ю. К. Иванов (6), О. И. Вашин (8)

панцовой и др., а также совместно с инженерами одного из предприятий г. Воронежа по модификации уже существующей серии «Тюльпан» – твердотельных динамических элементов со средним уровнем интеграции. Полученная серия интегральных микросхем получила наименование «Тюльпан-3». Серийное производство осуществлялось тем же предприятием г. Воронежа.

Применение логических элементов в твердотельном исполнении, миниатюрных резистивных и конденсаторных сборок, а также многослойных соединительных печатных плат позволили довести быстродействие новой БЦВМ, названной Орбита-20, до 200 тысяч коротких операций в секунду, сократить количество используемых микросхем в 2–3 раза по сравнению с БЦВМ Орбита-10 и как следствие увеличить в два раза надежность, сократить габариты, уменьшить вес, упростить технологию ее производства.

БЦВМ Орбита-20, использующая в качестве основной логической элементной базы интегральные микросхемы, является машиной третьего поколения.

Новая элементная база потребовала создания новых коммутационных устройств – соединительных плат, технический уровень которых соответствовал бы степени интеграции микросхем. Эта работа была проведена технологами и конструкторами ОКБ «Электроавтоматика» под руководством главного технолога Е. Е. Хныкина и привела к созданию совершенно новой технологии изготовления многослойных печатных плат.

Эта работа была крупным научно-техническим успехом коллектива ОКБ «Электроавтоматика», так как другие методы производства многослойных печатных плат либо не позволяли создавать платы соответствующего уровня, либо требовали для своей реализации дорогого импортного оборудования и материалов.

Основные участники этих работ: Е. Е. Хныкин, Е. И. Перельман, А. Н. Енин, В. И. Елкина, Г. И. Силантьев.

Аванпроект БЦВМ Орбита-20 был успешно защищен в 1971 г. через год после начала его разработки.

Высокие характеристики БЦВМ сразу же привлекли к ней внимание многих потенциальных потребителей, что повлекло за собой необходимость параллельной массовой разработки ряда аппаратно-программных модификаций базовой БЦВМ Орбита-20.

Заметную помощь в этой работе оказало ОКБ, организованное специально для этой цели при Уфимском приборостроительном за-

воде (руководитель и главный конструктор – С. А. Лавров, его заместитель – И. А. Насибуллин).

Кроме широкого использования технологии модификаций базовой БЦВМ Орбита-20 в ряде применений БЦВМ удалось при сохранении неизменной аппаратной части применять программное модифицирование. При этом изменению подвергалось только содержание запоминающих устройств – это было наиболее прогрессивное решение, поддержанное удачным составом аппаратных средств. Удалось для конкретной аппаратной модификации БЦВМ развить количество программных модификаций до 21, что можно считать для специализированной техники рекордом.

В последующие годы трансформаторное прошиваемое специальным монтажным проводом постоянное запоминающее устройство БЦВМ Орбита-20 (ПЗУ) повсеместно было заменено на более прогрессивное полупроводниковое репрограммируемое ПЗУ с перезаписью с использованием ультрафиолетового стирания информации и программаторов. После полной отработки загруженных программ репрограммируемое ПЗУ заменялось на однократно программируемое методом выжигания плавких перемычек на кристалле микросхем памяти. Таким образом достигалась большая надежность сохранения загруженных в память программ.

Внешний вид базовой модификации БЦВМ Орбита-20 приведен на рис. 16, типовой логической панели с установленными на них интегральными схемами «Тюльпан 3» – на рис. 17.

Видны панели устройств. Блок слева – вторичный источник питания. Справа – два легко заменяемых блока ПЗУ. Заменой этих блоков создавались программные модификации машины.



Рис. 16. Базовая модель БЦВМ Орбита-20 со снятыми верхними крышками

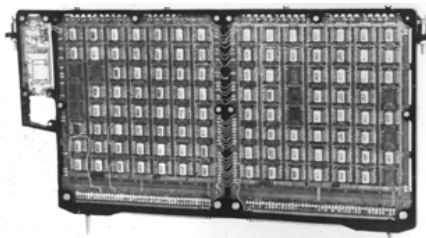


Рис. 17. Типовая логическая панель БЦВМ Орбита-20 с установленными на ней твердотельными интегральными схемами «Тюльпан 3»

На рис. 18 приведен внешний вид крупной модификации БЦВМ Орбита-20. Такие машины использовались в бортовых комплексах тяжелых самолетов типа Ту-22 и его модификаций и др. подобных. В таких комплексах требовался значительный (по тем временам) объем запоминающих устройств, что увеличивало количество однотипных блоков ЗУ.

В последующие годы, после завершения разработки БЦВМ и ее внедрения в 1974 г. в серийное производство на Уфимском приборостроительном заводе, многочисленные модификации этой машины длительное время доминировали в бортовых цифровых управляющих комплексах отечественных ЛА различного назначения, серийно выпускались много лет в больших количествах, экспортировались в составе головных объектов.



Рис. 18. Модификация базовой БЦВМ Орбита-20

Широким оказался фронт применения БЦВМ Орбита-20. Ниже в качестве иллюстрации приводится таблица разработанных и серийно выпускаемых аппаратных и программных модификаций этой БЦВМ. Ряд проектов был доведен до действующих образцов, но в дальнейшем по объективным причинам не выпускался (в таблице не приводятся).

Всего было выпущено более 15 тысяч комплектов различных модификаций этой БЦВМ.

О высоком уровне разработки говорит также и тот факт, что большое количество различных модификаций БЦВМ Орбита-20 успешно эксплуатируется на головных объектах ВВС и ГА России и за ее пределами до настоящего времени, т. е. более 30 лет.

**Таблица модификаций БЦВМ Орбита-20,
выпускаемых в период 1973 – 1990 гг.**

Аппаратная модификация	Количество программных модификаций	Область применения
Орбита-20-1	7	НК легких самолетов
Орбита-20-6	6	Системы индикации
Орбита-20-7	7	НК спецобъектов
Орбита-20-11	12	НК тяжелых самолетов
Орбита-20-12		
Орбита-20-20		
Орбита-20-22	2	Спецприменение
Орбита-20-23	1	ПрНК самолета МиГ-29
Орбита-20-42	6	НК тяжелых самолетов
Орбита-20-86	1	НК самолета Ил-86
Орбита-20-700	12	НК спецобъектов
Орбита-20-750	8	ПрНК вертолетов

Конец периода показан условно, так как образцы БЦВМ Орбита-20 выпускались отдельными партиями и в последующие годы.

Модификации этого типа применялись в малоразмерных ЛА и многомашинных самолетных комплексах для гибкого подбора их ресурсов.

На рис. 20 приведена система индикации для самолета МиГ-29, в которой использована модификация БЦВМ Орбита-20. На рисунке три левых блока – БЦВМ Орбита-20-6. В центре – кабинные индикаторы: индикатор навигационной и тактической информации и индикатор прямого видения (телевизор).

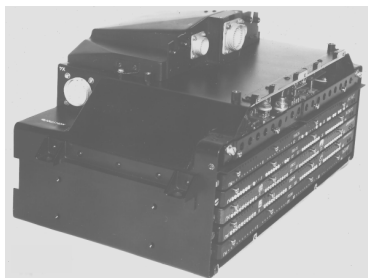


Рис. 19. Общий вид экзотической модификации базовой БЦВМ Орбита-20 (крышка снята и видны панели)



Рис. 20. Общий вид системы единой индикации для самолетов МиГ-29



Самолет МиГ-29

Своеобразной была модификация БЦВМ, которая являлась переходным вариантом между БЦВМ Орбита-20 и БЦВМ следующего поколения. Изделие представляло собой многоцелевую трехканальную вычислительную систему с возможностью гибкой аппаратно-программной коммутации каналов. Внешний вид БЦВМ со снятой крышкой представлен на рис. 21.

Здесь впервые в практике ОКБ «Электроавтоматика» был применен кондуктивный метод охлаждения блока БЦВМ. Работа была доведена до поставок опытных образцов, но в дальнейшем закрыта в связи с прекращением работ на головном объекте у заказчика.

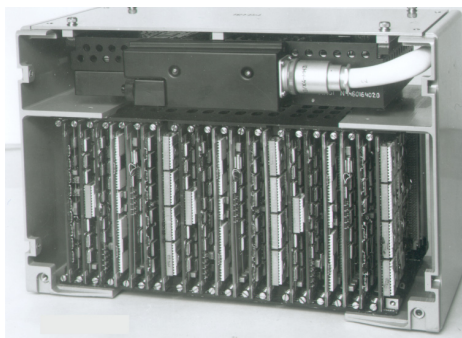


Рис. 21. БЦВМ80-307XX «Сигма»

Надо отметить, что успешное выполнение большого объема поручаемых ОКБ «Электроавтоматика» опытно-конструкторских работ в области БЦВМ в значительной степени обеспечивалось как конечными, так и промежуточными результатами разнообразных выполняемых одновременно или с опережением НИР.

Возможность такой организации работ обеспечивалась наличием в составе ОКБ «Электроавтоматика» специального отделения по разработке БЦВМ, коллектив которого планомерно разрабатывал свою тематику и поэтому постоянно был готов к выполнению очередного конкретного ОКР.

Ниже в качестве примера приведены наименования некоторых НИР, проводимых в интересах следующих поколений БЦВМ:

- разработка комплексной аппаратурно-элементной программы перспективного развития аппаратуры по обработке и передаче информации, включая БЦВМ и изделия электронной техники;
- исследования по созданию бортовых ЭВМ нового поколения;
- разработка управляющей вычислительной системы с гибкой архитектурой;
- разработка ЗУ большой емкости для современных и перспективных комплексов;
- исследование методов и средств автоматизации проектирования и отработки математического обеспечения комплексов с перспективными БЦВМ;
- исследование методов отработки программ комплексов с ЦВМ80 на многомашинной вычислительной системе.

Первая НИР, посвященная комплексной программе и относящаяся к 80-м гг. прошлого века, представляет значительный ин-

интерес, так как это была совместная программа двух союзных министерств: авиационной и электронной промышленности. Преимущества такой организации очевидны, они обеспечивают синхронную разработку элементной базы и БЦВМ. Кроме того, заранее известны ориентировочные параметры разрабатываемых изделий электронной техники.

Подводя некоторый итог работ, можно отметить, что конец 70-х гг. XX в. в рассматриваемой области характеризовался дальнейшей разработкой все большего количества модификаций БЦВМ Орбита-20 для расширяющегося круга потребителей, участие в серийном освоении образцов машин на Уфимском и Чебоксарском приборостроительных заводах, помощь в эксплуатации выпущенных образцов.

Однако, несмотря на сказанное выше, следовало своевременно, загодя проводить разработку следующих БЦВМ, обладающих более высокими потребительскими свойствами.

Эти БЦВМ должны были появиться не позднее того времени, когда возможности БЦВМ Орбита-20 будут исчерпаны.

Стремясь сохранить непрерывность линии развития своей тематики, а также проводя планомерное улучшение характеристик изделий, сотрудники ОКБ «Электроавтоматика» в 1973 г. приступили к разработке БЦВМ на БИС. В порядке подготовки этой работы были разработаны своими силами варианты функциональных схем этих БИС с ориентацией на производственные возможности предприятий Министерства электронной промышленности.

БЦВМ четвертого поколения получила наименование ЦВМ80 (другое название – «Гамма»), при ее проектировании были использованы процессорные секции БИС серии 1804 и БИС полупроводниковых ЗУ – полупостоянные с электрической записью информации и ультрафиолетовым стиранием и постоянные с выжиганием плавких перемычек в структуре полупроводника.

Эта разработка должна была, как и раньше, для БЦВМ третьего поколения Орбита-20, стать базовой для отрасли в качестве центрального вычислителя для различных авиационных комплексов и для управления отдельными системами в качестве периферийных вычислителей а также для тренажеров.

Характеристики БЦВМ должны были обладать свойством изменения в широких пределах в соответствии с требованиями заказчика.

Разработчикам было ясно, что период развития БЦВМ четвертого поколения будет длительным, с количественным изменением

ее характеристик, но не качественным, дающим право перехода к следующему поколению техники. Все это определялось соответствующим этапом развития отечественной элементной базы, с одной стороны, и особенностями фон-неймановской архитектуры БЦВМ, с другой.

Тем не менее, происходило неуклонное совершенствование элементной базы машин и содержание их постепенно, в рамках одного поколения, изменялось. В связи с этим было естественным разделить БЦВМ одного, в данном случае – четвертого поколения на подгруппы – генерации.

При создании БЦВМ четвертого поколения был применен уже проверенный базовый метод: базовая БЦВМ и ее аппаратные и программные модификации.

Одним из отличительных признаков БЦВМ четвертого поколения являлось то, что система команд в них была совместима с наземными универсальными ЭВМ, такими как М6000, СМ4, а для объединения функциональных модулей, входящих в ЦВМ, стала применяться стандартная системная шина, используемая в универсальных ЭВМ.

Последнее обстоятельство позволяло обрабатывать бортовые программы на лабораторных стендах, укомплектованных универсальными ЭВМ, что значительно сокращало сроки разработки ПО. Это являлось по сути дела первыми попытками использовать отработанные промышленные технологии в специализированных ЦВМ.

Комбинированная структурная схема такого стенда, именуемого рабочее место программиста (РМП), приведена на рис. 22. На структурной схеме РМП термин «обрабатываемая ЦВМ» в блоке

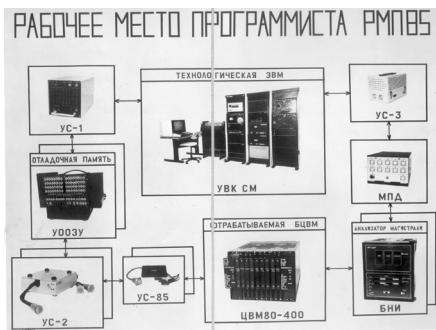


Рис. 22. РМП85

ЦВМ80-400 неточен, так как обрабатывается не ЦВМ, а программа, загруженная в ЗУ ЦВМ.

Первая генерация ЦВМ80 получила индекс ЦВМ80-1XXXX, в котором первые два символа XX определяют аппаратную модификацию, а два последующих – программную.

Базовой ЦВМ80-1XXXX стала ее первая модификация – ЦВМ80-10300 для навигационного комплекса пассажирского самолета Ту-154. На основе КД базовой ЦВМ разрабатывалась КД модификаций. Это экономило время разработки каждой модификации.

Кроме базовой ЦВМ одновременно был разработан и передан заказчикам ряд образцов этой модификации для различных самолетных систем. В дальнейшем все модификации первой генерации были заменены на четвертую генерацию как более совершенную и полностью совместимую для потребителей с первой.

При создании первой генерации ЦВМ четвертого поколения пришлось решить много сложных технических вопросов. Следует отметить высокий уровень проектирования и большой вклад таких разработчиков как Л. П. Горохов, Г. Я. Щучинская, И. В. Куликов, О. А. Кизик, С. А. Лукьянченко, А. Мякошин, М. И. Шмаенок, А. П. Данилов, Е. Е. Хныкин, М. И. Гуревич, новаторов механиков и монтажников.

Вычислительные машины третьей генерации ЦВМ80-3XXXX имели вдвое меньший размер панелей (относительно первой генерации) и как следствие – меньший общий габарит. Эти ЦВМ использовались, в основном, на легких самолетах в варианте встроенной аппаратуры. Предназначались они для работы в составе инерциальных систем, систем управления оружием, систем индикации.

Эти ЦВМ разрабатывались, начиная с 1981–1982 гг., и к 1985 г. существовало четыре аппаратные модификации, программных было больше.



Самолет Ту-154

Друг от друга аппаратные модификации отличались наборами модулей и конструктивной компоновкой – это были либо моноблоки, либо наборы модулей.

Модификации ЦВМ80-3XXXX:

ЦВМ80-303XX – набор их двух модулей для работы в составе инерциальной системы,

ЦВМ80-302XX – моноблок, пользовательский интерфейс радиального типа по ГОСТ18977-79. Эти БЦВМ применялись, в основном, на гражданских объектах,

ЦВМ80-307XX – упомянута выше,

ЦВМ80-308XX – моноблок, пользовательский интерфейс последовательного типа (мультиплексированный) по ГОСТ 26765.52-87. Эти БЦВМ применялись, в основном, на военных объектах,

На рис. 23 представлена одна из модификаций этой ЦВМ.

Последняя – четвертая генерация ЦВМ80 – ЦВМ80-4XXXX создавались в виде аппаратных модификаций, начиная с 1985 г., для обеспечения работы пилотажно-навигационных комплексов и систем индикации тяжелых самолетов и для обслуживания системы контроля и управления силовыми установками пассажирских лайнеров Ту-204 и Ил-96. В ЦВМ 80 четвертой генерации была реализована система команд совместимая с универсальной ЭВМ СМ4, которая к тому времени получила наибольшее распространение в промышленном применении. Серийный выпуск производился УПЗ.

Для примера на рис. 24 приведена базовая ЦВМ80-400 и несколько ее модификаций: для контроля режимов работы двигателей магистральных пассажирских самолетов – ЦВМ80-401XX (рис. 25),



Рис. 23. Внешний вид ЦВМ80-308XX



Самолет Ту-204



Рис. 24. ЦВМ80-400XX

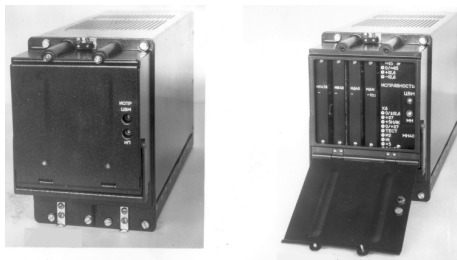


Рис. 25. ЦВМ80-401XX

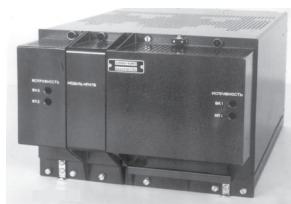
для использования в пилотажно-навигационных комплексах – ЦВМ80-402XX (рис. 26) и ЦВМ80-404XX (рис. 27).

В результате тщательного освоения модификаций ЦВМ80-4XXX на Уфимском приборном заводе комплексной бригадой специалистов ОКБ «Электроавтоматика», Саратовского технологического института и завода их технологичность значительно улучшилась и ЦВМ приобрели свой законченный серийный вид.

Ниже приводится одно из многочисленных приложений ЦВМ80 – составной части вычислительной системы самолетовождения магистральных самолетов ВСС-85, внешний вид которой приведен на рис. 28. Кроме ЦВМ80 в состав ВСС-85 входил также пульт управления и индикации ПУИ-85.



*Рис. 26.
ЦВМ80-402XX*



*Рис. 27.
ЦВМ80-404XX*

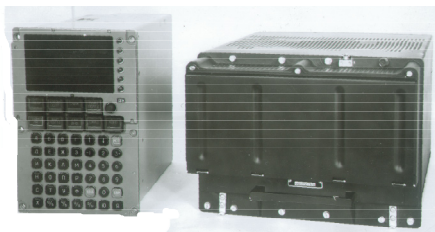


Рис. 28. Вычислительная система самолетовождения ВСС-85

Предполагалось использовать ВСС-85 кроме самолетов Ил-96 и Ту-204 также и на ближне-магистральном самолете Ту-334, разработка которого проводилась в это время в ОКБ им. А.Н. Туполева. Тем не менее, разработчики ОКБ «Электроавтоматика», опираясь на новейшие достижения микроэлектроники, предложили смелое и прогрессивное решение: объединить функции ЦВМ и пульта в одном блоке при общем сокращении размеров оборудования и его веса. В дальнейшем такой принцип совмещения функций вычислительной машины и других функций найдет в работах ОКБ «Электроавтоматика» достаточно широкое распространение. Новый комбинированный блок назвали пульт-вычислитель – ПВ-334. На основе этого ПВ-334 планировалось создание 4-машинной (4 ПВ-334) глубоко резервированной вычислительной системы ВСС-ПВ-334.

В дальнейшем ПВ-334 путем некоторых усовершенствований было придано свойство применимости к широкому классу объектов (вплоть до наземных).

Внешний вид варианта пульта-вычислителя приведен на рис. 29. ПВ является многофункциональным высокопроизводительным экранным пультом-вычислителем, позволяющим решать задачи



*Рис. 29. Многофункциональный экранный пульт-вычислитель ПВ-95
(справа панели блока несколько выдвинуты)*

самолетовождения, навигации, спецзадачи и задачи обеспечения взаимодействия с радиотехническими средствами навигации и посадки. Построен по модульному принципу, допускается комплектация модификаций ПВ по требуемой заказчиком конфигурации.

Благодаря модульному принципу проектирования ПВ и использованию базового комплекта модулей появилась возможность за короткий период проектировать ПВ, удовлетворяющий требованиям заказчика по вычислительной мощности и необходимой номенклатуре и количеству каналов приема и выдачи информации.

Отдельно следует рассматривать разработку образцов семейства базовых ЦВМ: СБ3541 и СБ3542. Эта работа явилась отражением очередной попытки государства ввести разработку специализированных ЦВМ в «оборонной пятерке» министерств в какие-либо организационные рамки и унифицировать эти работы. Эта попытка, как и несколько более ранних аналогичных попыток, не увенчалась успехом. В данном случае основной причиной стала начавшаяся в этот период государственная перестройка народного хозяйства и ее негативные последствия.

СБ3541 и СБ3542 явились дополнительной генерацией ЦВМ четвертого поколения. Можно считать, что СБ3541 находится у истоков создания в ОКБ «Электроавтоматика» ЦВМ уже с 90-х годов.

Основанием для разработки явилось решение Военно-промышленной комиссии ВПК при ЦК КПСС и Совете Министров СССР № 456 от 16.12.1986 г. На основании этого решения рабочая группа ВПК сформулировала общие технические требования ОТТ на работу, именуемую «семейство базовых ЭВМ», коротко – СБXXXX, где символы X образовывали конкретный тип ЦВМ. Работа была распределена между рядом министерств, авиационной промышленности были поручены два типа бортовых СБ: моноблок СБ3541 и одноплатная ЦВМ для встраивания в аппаратуру – СБ3542.

Техническое задание на ОКР СБ3541 и СБ3542 утверждено командиром войсковой части 25966-Б 13.03.1991 г.

Для выполнения этой работы были использованы научно-технические заделы, которые, как уже говорилось выше, постоянно и независимо накапливались у разработчиков ЦВМ в ОКБ «Электроавтоматика». В конкретном случае были использованы два варианта макета новой ЦВМ, спроектированных с использованием транзисторно-транзисторной (ТТЛ) и комплементарной (КМОП) технологий БИС в 1978–1980 гг. и изготовленных в опытном производстве. Внешний вид этих макетов приведен на рис. 30.



Рис. 30. Макеты СБ ЭВМ

Проведенное макетирование дало возможность начать проектирование опытных образцов ЦВМ, один из вариантов которых приведен на рис. 31.

Далее, невзирая на постепенное уменьшение финансирования со стороны Министерства обороны и растущие трудности при выполнении работ, коллектив ОКБ нашел в себе силы продолжить разработку ЦВМ СБ3541 (базовая ЦВМ верхнего уровня) и СБ3542 (базовая ЦВМ для встраиваемых применений). На рис. 32 и 33 представлены эти изделия.

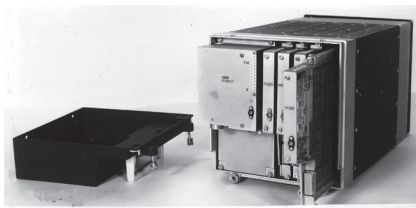


Рис. 31. Опытный образец СБ3541

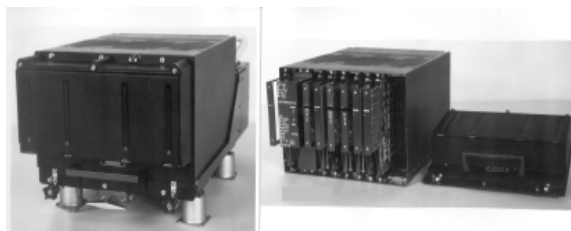


Рис. 32. СБ3541. На правом фото крышка снята

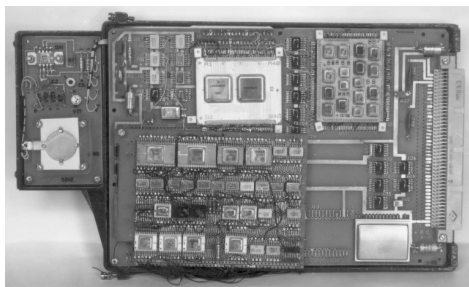


Рис. 33. СБ3542

ЦВМ была выполнена на основе отечественного микропроцессорного комплекта серии 1839 разработчик НИИТТ г. Зеленоград, архитектура и система команд была совместима с универсальной ЭВМ VAX11/750.

Благодаря примененному микропроцессорному комплекту МП1839 было в несколько раз по сравнению с ЦВМ 80-4XXXX увеличено быстродействие ЦВМ.

Разрабатываемая ЦВМ СБ3541 имела быстродействие до 5 млн операций в секунду с перспективой увеличения быстродействия до 10 млн операций.

Было изготовлено несколько образцов СБ, которые установили на стенды ОКБ.

На основе базовой ЦВМ СБ3541 в дальнейшем были разработаны модификации ЦВМ 90-5XX, обеспечившие построение многомашинных вычислительных систем верхнего уровня. ЦВМ 90-5XX предполагалось использовать в перспективных комплексах для самолетов МиГ.

Далее работы были остановлены в связи с полным прекращением их финансирования со стороны МО.

Тем не менее, заделы, созданные при разработке СБ3541 и СБ3542, нашли применение при разработке специализированной многопроцессорной СЦВМ ВМ94 (до пяти процессоров) для наземной системы комплекса обороны. Кроме того, на основе СБ3541 был разработан многопроцессорный вычислитель с четырехкратным резервированием для гиостабилизированной платформы космической станции «Марс».

В эти годы – 1994 и далее – была проведена разработка, не оставившая после себя заметного следа, однако ее специфичность заслуживает внимания. Это была большая комплексная работа, но

нас интересует ее составная часть – БЦВМ. Необычным для специалистов ОКБ «Электроавтоматика» явилось требование заказчика работы использовать импортную элементную базу: процессор, память, интерфейсы фирмы Intel.

В результате проведенного проектирования появился образец БЦВМ, обладающий следующими характерными особенностями:

- процессор был представлен в виде одноплатной микромашины, в которой использовалась БИС микропроцессора i80486,

- контроллер радиального и последовательного каналов был спроектирован на основе БИС i80386,

- системной шиной была назначена шина параллельного типа ISA (Industrial Standard Architecture) – фактически стандартная шина для персональных компьютеров типа IBM PC и совместимых с ними,

- впервые в практике проектирования БЦВМ была применена весьма прогрессивная технология использования мезонинов на шине ISA,

- при создании стенда сопровождения системы (в т.ч. и БЦВМ) была использована среда разработки лабораторных виртуальных приборов LabVIEW (Laboratory Virtual Engineering Workbench) – весьма популярная в западных проектах и мало известная в России.

Сами разработчики оценивали работу как достаточно консервативную – к этому времени сами БИС процессора и контроллера i80486 и i80386, а также шину ISA нельзя было считать передовыми решениями, они могли быть заменены другими более совершенными. Напротив, технология мезонинов и использование среды LabVIEW прогрессивны до настоящего времени.

Тем не менее, большая часть этих решений была продиктована заказчиком и выполнена в полном объеме.

Возобновившиеся в конце 90-х годов разработки и модернизации авиационных комплексов потребовали от разработчиков ЦВМ дальнейшего наращивания ее вычислительных мощностей.

Важным шагом было изменение структуры операционной части арифметического устройства новых ЦВМ. Следуя тенденциям развития микроэлектронной базы, с учетом мирового опыта разработчики перешли от использования БИС универсальной архитектуры к RISC-процессорам. Эти БИС предполагалось воспроизвести в России, они были легко доступны по импорту.

В 1998–2000 гг. в целях сокращения затрат и сроков разработки и использования ранее созданного задела специалистами ОКБ

«Электроавтоматика» был спроектирован модуль процессора с использованием БИС R3081 (в 2003 г. он был заменен на БИС серии 1890, разработчик НИИ СИ РАН) с быстродействием 25–50 млн операций в секунду, совместимый с модулями, ранее разработанными для ЦВМ 90-5XXXX. Разработка такого модуля позволила резко увеличить вычислительные возможности ЦВМ 90-5XX. ЦВМ с операционной частью арифметического устройства с архитектурой RICS был присвоен шифр ЦВМ 90-6XX.



Рис. 34. Внешний вид ЦВМ 90-6XX

Структурная схема одной из модификаций ЦВМ 90-6XXX и ее технические характеристики приведены ниже. Общий вид ЦВМ 90-6XX и комплект входящих модулей показан на рис. 34 и 35.

ЦВМ 90-6XXXX было разработано более 10 модификаций с различными объемами памяти и количеством внешних интерфейсов. Разработанные ЦВМ применяются в авиационных комплексах, установленных на самолетах Су24, Су25, Ан74, Як130.

Большой вклад в разработку этих машин внесли Уткин Б. В., Фомин А. Л., Кирсанова Ю. А., Богданов А. В., Петухов В. И., Смирнов Е. В., Романов А. Н., Васильев Г. А. и многие другие сотрудники ОКБ.

Широкое использование в бортовых комплексах цифровой обработки информации привело к постепенному размыванию понятия

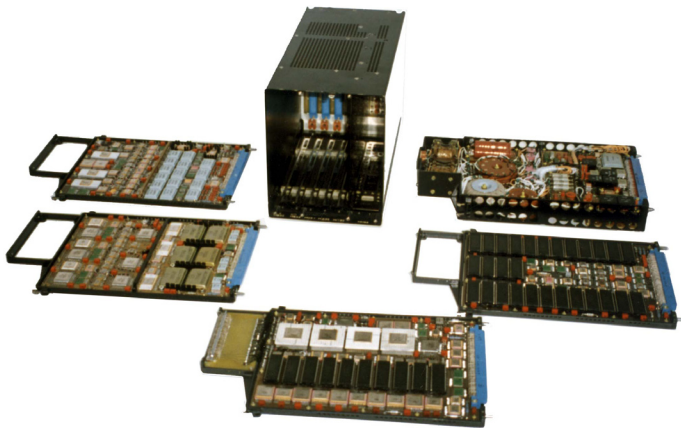


Рис. 35. Конструкция контейнера и модулей, входящих в ЦВМ 90-6XXXX

БЦВМ как единого целого, так как каждая система (блок) стала включать совокупность технических средств (микропроцессоры) и математического обеспечения для автоматизированной обработки, приема/выдачи и хранения информации.

Эти блоки совмещали в себе не только вычислительные функции, но и специализированные.

Таких блоков в ОКБ было выпущено более 20 различных типов, в частности:

- многофункциональные цветные индикаторы (МФЦИ);
- специализированные блоки для различных применений, например блок БФВИ – блок формирования визуальной информации.

В качестве примера на рис. 36 приведена кабина легкого боевого самолета с установленными в ней двумя МФЦИ и одним пультом управления с плазменной панелью.

МФЦИ содержит устройство приема информации, вычислительный блок для обработки информации и жидкокристаллический экран, т. е. происходит совмещение функции ЦВМ и дисплея.

На основе ЦВМ 90-5ХХ и -6ХХ (и их модулей) в ОКБ «Электроавтоматика» разработан обширный ряд (более 40) разнообразных средств вычислительной техники, средств управления и индикации для широкого ряда конечных объектов: модификаций самолетов МиГ, Су, вертолетов, самолетов дальней авиации, С-80, Ту, наземных комплексов и др.



Рис. 36. Кабина легкого боевого самолета

Далее приведены более подробные потребительские данные поколений БЦВМ ЦВМ-263 и ЦВМ-264, Орбита-10 и Орбита-20, ЦВМ80, ЦВМ90 и их структурные схемы.

Эти данные следует предварить некоторыми замечаниями.

Замечание первое.

Основные принципы, положенные в основу проектирования БЦВМ в ОКБ «Электроавтоматика», во всей своей совокупности и полноте были сформулированы не сразу, но в процессе создания и эксплуатации образцов БЦВМ различных поколений в составе бортовых комплексов на действующих объектах и в соответствии с прогрессом техники и технологии. Тем не менее, в тексте они введены в рассмотрение уже и для первого поколения БЦВМ.

Замечание второе.

В Министерстве авиационной промышленности СССР, начиная с определенного времени, были введены нормативы технического уровня и технологичности, которые определялись для различных видов продукции (в том числе и для БЦВМ) головными институтами министерства на основе изучения лучших мировых образцов аналогичного назначения, с одной стороны, и тенденций внутригосударственного развития техники и технологии, с другой стороны. Эти нормативы были обязательны для выполнения и включались в технические задания на разработку.

Замечание третье.

Наличие внешних (пользовательских) интерфейсов в составе БЦВМ по мнению ОКБ «Электроавтоматика» является важным фактором, который привлекает пользователей и существенно облегчает интеграцию БЦВМ в бортовое оборудование. Однако этой точки зрения придерживались не все разработчики, так, например, НИИЦЭВТ заканчивал структурную схему своих БЦВМ системным интерфейсом, предоставляя пользователям разработку устройств ввода-вывода информации в соответствии с составом комплексируемого оборудования.

Замечание четвертое.

В приводимых материалах используется понятие «опережающее использование элементной базы». Под ним в данном случае понимается применение в разработках БЦВМ импортной элементной базы, имеющей характеристики, существенно более высокие, нежели их отечественные аналоги, доступные на внутреннем рынке. При этом гарантируется воспроизводство этой базы в согласованные сроки. При такой технической политике появляется

возможность своевременно создавать изделия с высокими техническими характеристиками и поставлять их заказчикам. Однако это требует производить импорт воспроизводимых элементов в определенных объемах. Кроме того, разработчик аппаратуры, использующий воспроизводимую элементную базу, может столкнуться с неожиданными трудностями в случае неполного воспроизводства. Так например, может отличаться полученное при воспроизводстве быстродействие изделий электронной техники, требования к входным сигналам, могут отличаться даже типы корпусов.

Эти обстоятельства могут потребовать проведения в сжатые сроки дополнительных проектных работ. Тем не менее, получаемые при такой технической политике результаты окупают затраты.

Начало XXI в. знаменует собой новый серьезный этап в развитии БЦВМ. Причем главная проблема вновь лежит в области увеличения их производительности.

Кризис подготовлен рядом причин и на основных из них следует остановиться.

Современная жизнь характеризуется резким возрастанием сложности систем, создаваемых человеком. К сожалению, сложность автоматизированных систем, измеряемая объемом информации, которую они производят, с учетом одновременного роста в ряде случаев динамики автоматизируемых процессов часто уже превосходит возможности людей по анализу этой информации и принятии правильных решений. Мы имеем возможность наблюдать регулярные катастрофы сложных объектов, которые можно объяснить перегрузкой обслуживающего персонала, недостаточным качеством проектирования управляющих систем, возникновением нештатных ситуаций неуправляемости. Традиционные методы управления не обеспечивают требуемой эффективности последнего в условиях:

- недостаточности априорной информации о внешней среде функционирования,
- большого количества трудно учитываемых факторов нестационарности и субъективного их характера,
- изменяемости целей и критериев качества управления вследствие деградации (отказов, аварий) или целенаправленной реконфигурации.

Все указанные выше явления почти наверняка будут быстро развиваться.

Характеристики архитектуры ЦВМ-263, ЦВМ-264

Тип БЦВМ	универсальная, одноадресная, синхронная, последовательно-параллельного действия, 16-разрядная с фиксированной запятой.
Система прерывания	двухуровневая, один уровень – КПА.
Система команд	одноформатная.
Виды адресации	прямая, непосредственная, индексная.
Система контроля	система тестового встроенного контроля. автономная система контроля с использованием КПА.

Основные технические характеристики

Система команд	SEAC/DISEAC
Быстродействие [тыс. оп/с]	
регистр-регистр	62
регистр-память	31
Емкости запоминающих устройств [К слов]	0.256
ОЗУ	8.0
ПЗУ	отсутствует
ЭЗУ	
Каналы ввода-вывода входные величины	107 Аналоговые сигналы по отраслевой
выходные величины	66 нормали 847АТ.
Наработка на отказ Т	200
Потребляемая мощность Р	2000
Масса G	
ЦВМ-263	330
ЦВМ-264	350

Степень реализации основных принципов проектирования

Принципы проектирования		Степень реализации
Базовые модели, модификации		частичная.
Обеспечение внешних интерфейсов		полная.
Нормативы технического уровня (НТУ) и технологии		НТУ отсутствуют.
«4М»	Модульность	частичная – реализована на уровне типовых плат.
	Магистральность	отсутствует.
	Микропроцессоры	отсутствует.
	Микропрограммирование	отсутствует.

Характеристики архитектуры БЦВМ Орбита-10

Тип БЦВМ	универсальная, одноадресная, синхронная, последовательно-параллельного действия, 16-разрядная с фиксированной запятой. Возможно удвоение разрядности при вычислениях.
Система прерывания	двухуровневая, один уровень – КПА.
Система команд	одноформатная. Наличие специальных множительного и делительного устройств.
Виды адресации	прямая, непосредственная, индексная.
Система контроля	система тестового встроенного контроля. автономная система контроля с использованием КПА.

Основные технические характеристики

Система команд	SEAC/DISEAC
Быстродействие [тыс. оп/с]	
регистр-регистр	125
регистр-память	125
умножение	62.5
деление	5
Емкости запоминающих устройств [К слов]	
ОЗУ	1.0
ПЗУ	16-32
ЭЗУ	256 слов
Каналы ввода-вывода	Аналоговые сигналы по отраслевой нормали 847АТ.
Наработка на отказ Т	250-500.
Потребляемая мощность Р	500-1500
Масса G	60-90.

Степень реализации основных принципов проектирования

Принципы проектирования		Степень реализации
Базовые модели, модификации		полная (на уровне блоков).
Обеспечение внешних интерфейсов		полная (регламентируется степенью стандартизации интерфейсов).
Нормативы технического уровня (НТУ) и технологии		НТУ отсутствуют.
«4М»	Модульность	реализована на уровне блоков.
	Магистральность	реализована на уровне блоков.
	Микропроцессоры	отсутствует.
	Микропрограммирование	отсутствует.
Опережающее применение элементной базы		отсутствует.
Наличие кросс-средств		частично – некоторые функции кросс-средств реализованы в КПА.

Характеристики архитектуры БЦВМ Орбита-20

Тип БЦВМ	универсальная, одноадресная, синхронная, последовательно-параллельного действия, 16-разрядная с фиксированной запятой. Возможно удвоение разрядности при вычислениях.
Система прерывания	двухуровневая, один уровень – КПА.
Система команд	одноформатная. Наличие специальных множительного и делительного устройств.
Виды адресации	прямая, непосредственная, индексная. Расширение адресного поля при обращении к ЗУ через диспетчер памяти.
Система контроля	система тестового встроенного контроля. автономная система контроля с использованием КПА.

Основные технические характеристики

	SEAC/DISEAC
Система команд	
Быстродействие [тыс. оп/с]	
регистр-регистр	200
регистр-память	200
умножение	100
деление	10
Емкости запоминающих устройств [К слов]	
ОЗУ	0.5-4.0
ПЗУ	16-48
ЭЗУ	до 1.0
Каналы ввода-вывода	Аналоговые сигналы по отраслевой нормале 847АТ.
Наработка на отказ Т	5000-400 (для максимальной комплектации).
Потребляемая мощность Р	65-400.
Масса G	8.5-60.

Степень реализации основных принципов проектирования

Принципы проектирования		Степень реализации
Базовые модели, модификации		полная (на уровне легкоосъемных модулей).
Обеспечение внешних интерфейсов		полная.
Нормативы технического уровня (НТУ) и технологии		НТУ отсутствуют.
«4М»	Модульность	реализована на уровне легкоосъемных модулей.
	Магистральность	частичная (использован стандарт предприятия)
	Микропроцессоры	отсутствует.
	Микропрограммирование	отсутствует.
Опережающее применение элементной базы		частичная.
Наличие кросс-средств		частичная – некоторые функции кросс-средств реализованы в КПА.

Характеристики архитектуры ЦВМ Орбита 80-30XX

Тип БЦВМ	универсальная с микропрограммным управлением, одноадресная, асинхронная, параллельного действия, 16-разрядная с фиксированной запятой. Возможно удвоение разрядности при вычислениях.
Система прерывания	двухуровневая.
Система команд	многоформатная (6 форматов). Возможно расширение системы команд SIRIUS посредством введения в ЗУ МК заказных макрокоманд.
Виды адресации	прямая, непосредственная, относительная, индексная.
Система контроля	система тестового встроенного контроля, автономная система контроля с использованием КПА, отладка программ с использованием рабочего места программиста.

Основные технические характеристики

	80-302XX	80-303XX	80-307XX	80-308XX
Система команд	открытая система команд типа SIRIUS (близкая к универсальной).			
Быстродействие [тыс. оп/с]	600			
регистр-регистр	300			
регистр-память	100			
умножение	54			
деление	12			
Емкости запоминающих устройств [К слов]	12	4	24	16
ОЗУ	36	12	72	32
ПЗУ	1	1	1	1
ЭЗУ	ГОСТ 18977-79	РТМ 1609-79	ГОСТ 18977-79	ГОСТ 18977-79,
Каналы ввода-вывода	18977-79	79	79	ГОСТ 26765.52-87
Наработка на отказ Т	1500	25000	2400	2600
Потребляемая мощность Р	145	23	120	110
Масса G	8	0.8	12	9.7

Степень реализации основных принципов проектирования

Принципы проектирования		Степень реализации
Базовые модели, модификации		полная.
Обеспечение внешних интерфейсов		полная.
Нормативы технического уровня (НТУ) и технологии		частичная.
«4М»	Модульность	полная.
	Магистральность	-»-
	Микропроцессоры	-»-
	Микропрограммирование	-»-
Опережающее применение элементной базы		полная.
Наличие кросс-средств		полная.

Характеристики архитектуры ЦВМ Орбита 80-40XX

Тип БЦВМ	универсальная с микропрограммным управлением, одноадресная, асинхронная, параллельного действия, 16-разрядная с плавающей запятой. Возможно удвоение разрядности при вычислениях.
Система прерывания	8 управляемых уровней.
Система команд	многоформатная (6 форматов). Возможно расширение системы команд SIRIUS посредством введения в ЗУ МК заказных микрокоманд.
Виды адресации	7 видов.
Система контроля	система тестового встроенного контроля, автономная система контроля с использованием КПА, отладка программ с использованием рабочего места программиста.

Основные технические характеристики

	80-400XX	80-401XX	80-403XX	80-404XX
Система команд	Электроника 60М			
Быстродействие [тыс. оп/с]	800			
регистр-регистр	500			
регистр-память	100			
умножение	60			
деление	60			
Емкости запоминающих устройств [К слов]	19	10	24	22
ОЗУ	96	48	96	96
ПЗУ	224	16	32	128
ЭЗУ	ГОСТ	ГОСТ	ГОСТ 18977-	ГОСТ 18977-79,
Каналы ввода-вывода	18977-79	18977-79	79	ГОСТ 26765.52-87
Наработка на отказ Т	3000	5000	2700	2500
Потребляемая мощность Р	170	100	250	230
Масса G	15	7	16	16

Степень реализации основных принципов проектирования

Принципы проектирования		Степень реализации
Базовые модели, модификации		полная.
Обеспечение внешних интерфейсов		полная.
Нормативы технического уровня (НТУ) и технологии		полная.
«4М»	Модульность	полная.
	Магистральность	-»-
	Микропроцессоры	-»-
	Микропрограммирование	-»-
Опережающее применение элементной базы		полная.
Наличие кросс-средств		полная.

Характеристики архитектуры ЦВМ Орбита 90-60XX

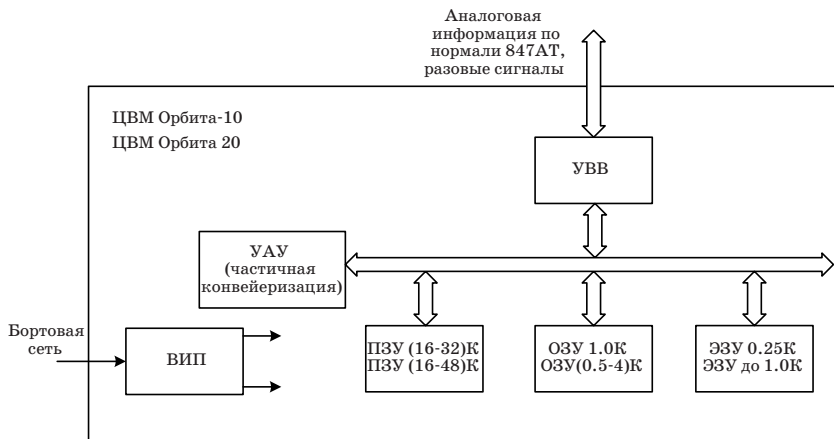
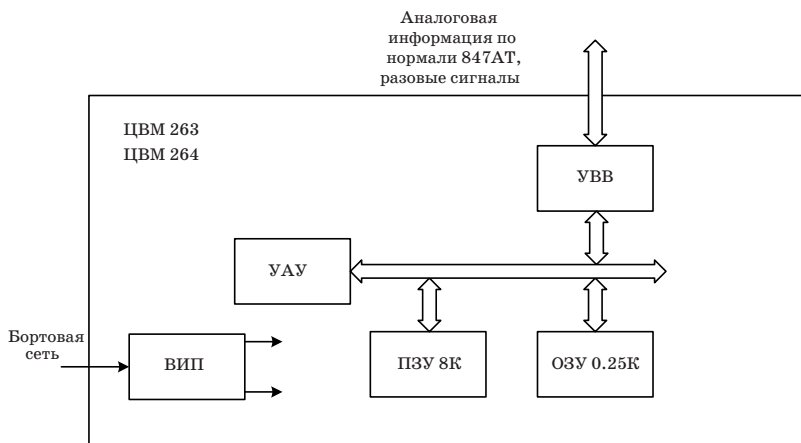
Тип БЦВМ	универсальная, одноадресная, асинхронная, параллельного действия, 16-32-разрядная с плавающей запятой. Возможно удвоение разрядности при вычислениях.
Система прерывания Система команд	6 управляемых уровней. MIPS-1.
Виды адресации Система контроля	7 видов. система тестового встроенного контроля, автономная система контроля с использованием КПА, отладка программ с использованием рабочего места программиста.

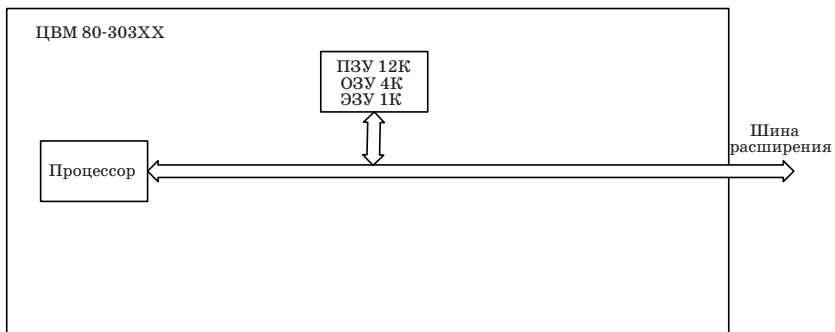
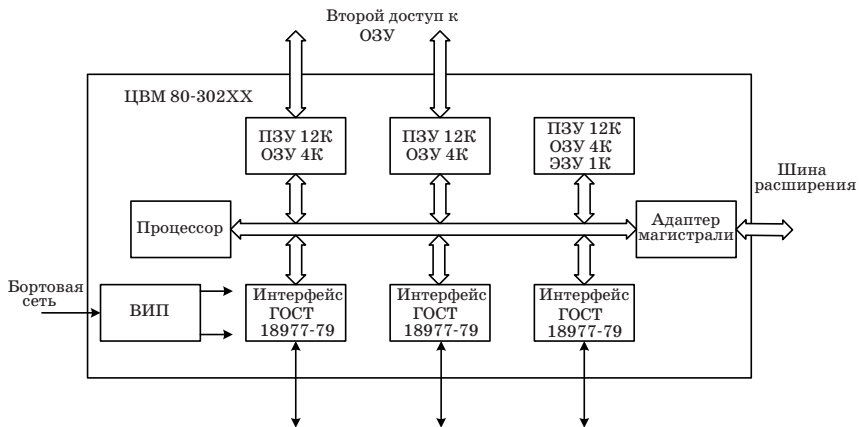
Основные технические характеристики

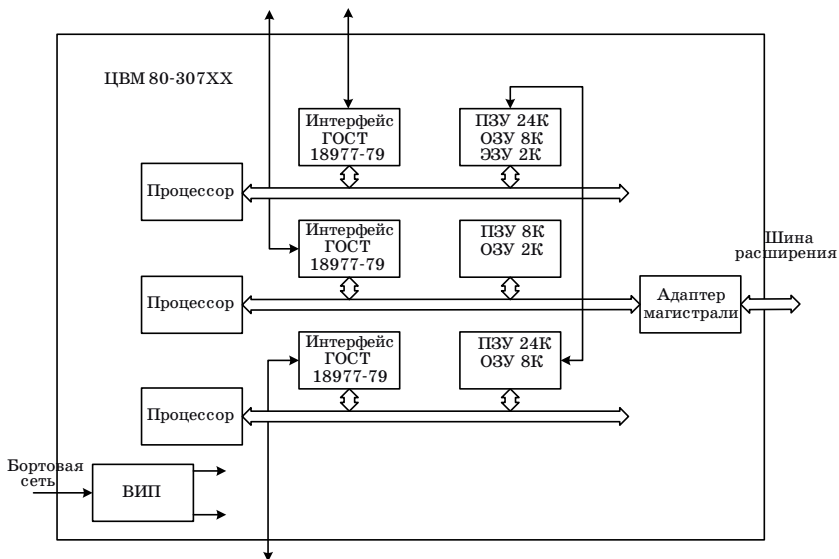
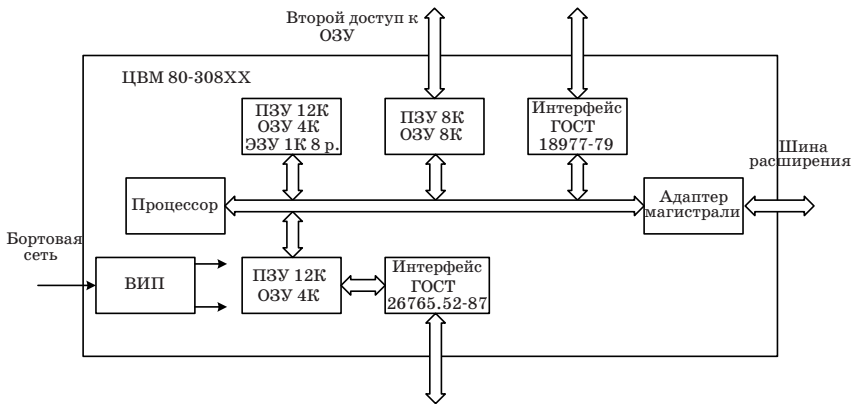
	90-601XX	90-604XX (двух- контурная)	90-613
Система команд	Электроника 60М		
Быстродействие [Млн. оп/с, не менее]			
регистр-регистр	50		
регистр-память	25		
умножение	10		
деление	1,2		
Емкости запоминающих устройств [Мбайт, не менее]			
ОЗУ	4	8	24
ПЗУ	8	16	96
ЭЗУ	-	256	-
Каналы ввода-вывода	ГОСТ 18977-79, 26765-87, RS 232, аналог-код, код-аналог, разовые сигналы	РТМ 18977-79, 26765-87, код-аналог, разовые сигналы	ГОСТ 18977-79, 26765-87, RS 232, аналог-код, код-аналог, разовые сигналы
Наработка на отказ Т	6000	8000	3000
Потребляемая мощность Р	90	90	11
Масса G	10	15	11

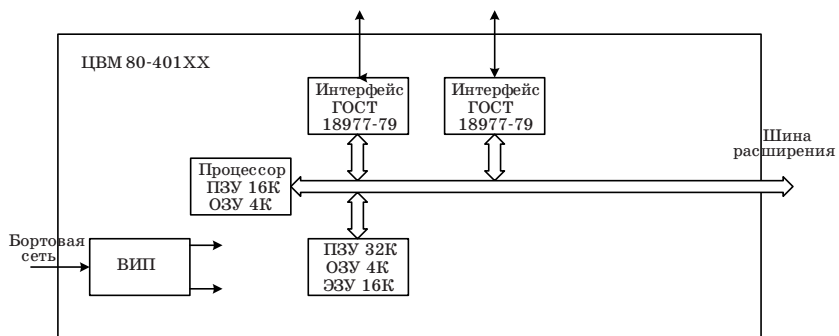
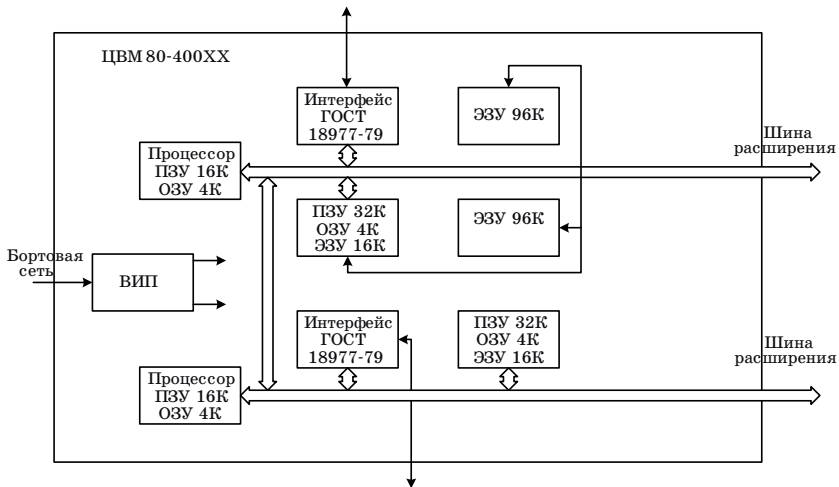
Степень реализации основных принципов проектирования

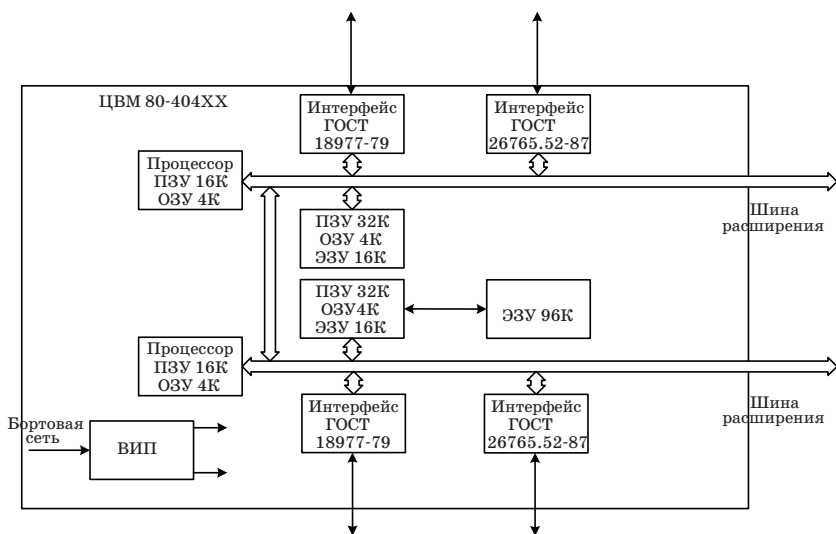
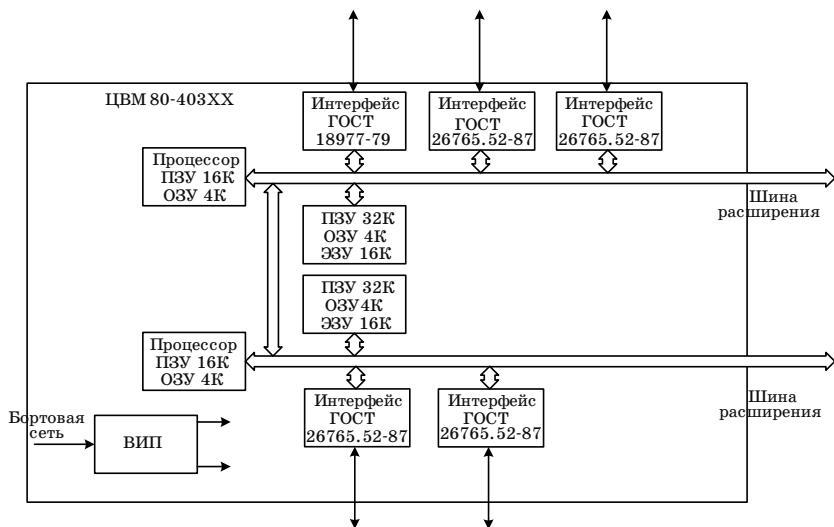
Принципы проектирования		Степень реализации
Базовые модели, модификации		полная.
Обеспечение внешних интерфейсов		полная.
Нормативы технического уровня (НТУ) и технологии		отсутствуют.
«4М»	Модульность	полная. -> -
	Магистральность	-> -
	Микропроцессоры	не требуется.
	Микропрограммирование	
Опережающее применение элементной базы		полная.
Наличие кросс-средств		полная.

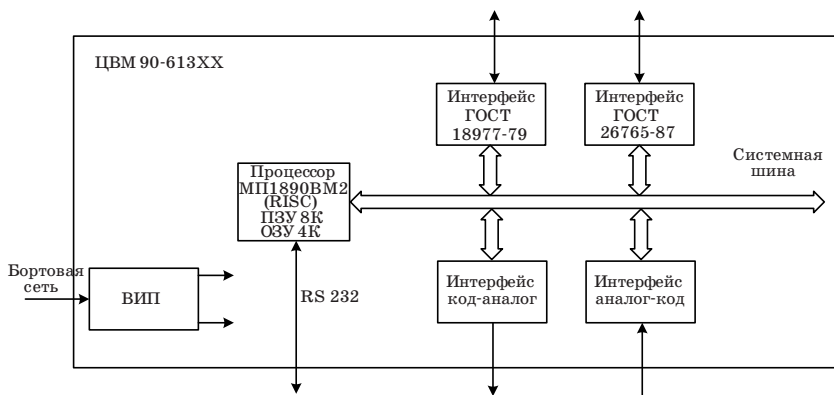
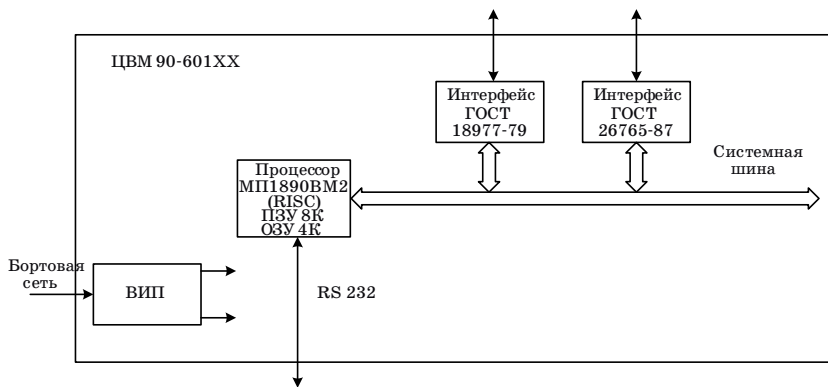


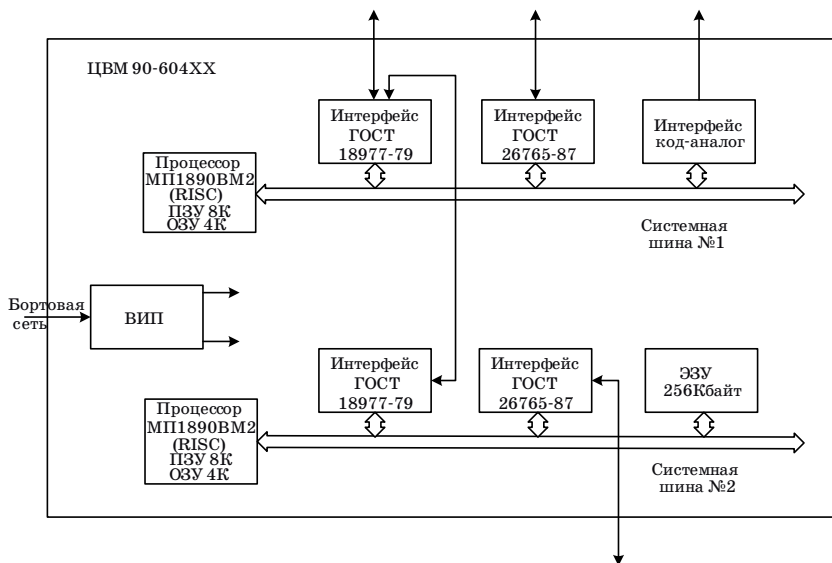












Следует добавить, что практика проектирования и применения сложных человекомашинных систем подтвердила предполагаемый вывод о том, что роль человека-оператора может возрастать с совершенствованием аппаратной части таких систем и неизбежным ее усложнением, особенно если это усложнение не сопровождается должным повышением уровня интеллектуальности аппаратно-программной части системы.

Сказанное в полной мере может быть применено к авиации, для которой вполне естественно попытаться использовать наиболее интеллектуальные системы и компоненты управления.

В конечном счете все сказанное неизбежно приводит к дальнейшему развитию комплексирования [2], появлению принципиально новых задач и, как следствие, новых требований к бортовым комплексам и их БЦВМ как центральным комплексующим и вычислительным средствам [3, 4].

При этом новые задачи и их совокупность в ряде случаев влияют на архитектуру комплексов, заставляя вводить в арсенал разработчиков новые решения, например, сетевую архитектуру с новым уровнем обмена информацией, требуя появления в составе БЦВМ пользовательских интерфейсов совершенно новых видов по структуре и характеристикам (например, локальных высокоскоростных

для принятия потоков информации в натуральном масштабе времени).

Вероятнее всего, что в ближайшее время будут созданы и уже создаются необходимые протоколы, будет определена физическая среда передачи информации, разработан приборный базис для практической реализации нового информационного обмена.

При подходе к бортовым вычислительным средствам пятого поколения следует остановиться еще на одном важном вопросе. БЦВМ функционируют на борту ЛА в составе сложных антропоцентрических систем, содержащих в своем составе кроме бортовых управляющих комплексов, содержащих наряду с многими другими важными частями бортовые алгоритмы, реализованные на этих БЦВМ (м.б. нескольких). Еще одной важной частью этих систем являются алгоритмы деятельности экипажа, материализованных в инструкциях для него по применению системы, в семантических элементах ИУП, в навыках и концептуальных моделях деятельности членов экипажа (полученных ими в процессе обучения) [5].

Совокупность бортовых алгоритмов для БЦВМ и алгоритмов деятельности экипажа нередко называют «Бортовым интеллектом».

Одна из основных задач комплексирования для ЛА пятого поколения заключается в перенесении возможно большего количества алгоритмов деятельности экипажа в состав алгоритмов БЦВМ, т. е. в повышении «интеллектуального уровня» бортового комплекса с целью максимального уменьшения влияния на надежность выполнения полетных заданий отказов бортовой аппаратуры или недопустимых погрешностей в их работе и человеческого фактора при управлении ЛА и работе наземных служб управления воздушным движением [6, 7].

Поскольку при этом затрагиваются задачи верхнего и среднего уровней управления, то обеспечение этих новых решений потребует вычислительные ресурсы, требования к которым значительно превышают достигнутые:

- верхний уровень управления: целеполагание,
- средний уровень управления: поиск способа достижения поставленной цели,
- нижний уровень управления: реализация выбранного способа.

Разработчики бортовых цифровых управляющих комплексов, неудовлетворенные существующими характеристиками БЦВМ (и

по некоторым другим причинам) стали при необходимости переходить к многомашинным комплексам с реализацией активного межмашинного обмена или без него – только в интересах повышения безопасности полетов. При этом в определенной степени разрешались как вопросы требуемой производительности, так и повышения вероятности выполнения летного задания – за счет появления элементов избыточности. Примером могут служить дублированные навигационные комплексы самолетов Ил-86, Ил-96 и Ту-204 и ряд специальных комплексов.

Следует отметить, что многомашинные комплексы можно рассматривать как сообщества вычислительных средств, реализующих параллельную обработку информации на одном объекте. Со своей стороны параллельная обработка – мощное средство повышения кондиций изделий, ее реализующих.

В настоящее время количество самолетов гражданской авиации увеличилось настолько, что существующие бортовые и наземные средства уже не могут обеспечить прежний уровень безопасности полетов.

Для разрешения этих проблем Международная организация гражданской авиации разработала новую концепцию организации воздушного движения – CNS/ATM (Communications, Navigation and Surveillance/Air Traffic Management – связь, навигация, наблюдение/организация воздушного движения).

Конечной целью внедрения указанной системы является возможность эксплуатации самолетов с минимальными ограничениями со стороны служб управления воздушным движением.

Для удовлетворения требований новой концепции эксплуатации самолетов со стороны БЦВМ, а также обеспечения функционирования прогрессивной технологии создания-поддержки бортового ПО необходимо предоставить в распоряжение разработчиков комплексов новые высокие ресурсы: производительность и объемы ЗУ различного функционального назначения.

Тем не менее, несмотря на определенное многообразие направлений развития, что вполне естественно в связи с масштабами проблемы, центральным вопросом является производительность БЦВМ. Здесь наблюдаются следующие тенденции [8 – 15]:

1. Улучшение технологии производства СБИС, что влечет за собой повышение тактовой частоты и увеличение числа элементов на кристалле. Однако, как показал опыт последнего десятилетия, увеличение числа вентилях на кристалле процессора отнюдь не сопро-

вождается пропорциональным повышением производительности. Это вызвано тем, что все большая и большая часть аппаратуры процессора обеспечивает ликвидацию возрастающего разрыва между скоростью процессора и скоростью доступа к данным в памяти.

Существует еще один грозный симптом. Дело в том, что современная электроника, основанная на кремниевой технологии, довольно скоро, не позднее первой четверти XXI в., приблизится к пределу миниатюризации. С неизбежностью предстоит переход из микронного в нанометровый диапазон измерений. Даже самые передовые технологии, используемые при изготовлении кремниевых микросхем, не могут выйти из микронной области, где имеется теоретический предел для ширины печатного проводника, примерно равный 0,07 – 0,1 микрона. Дальше вступают в силу законы квантовой механики, волновая природа электрона и т. д. Здесь заканчивается представление о природе на уровне закона Ома и начинается область нанотехнологий. До указанного предела осталось совсем немного, уже проектируются процессоры, которые будут построены по 0,18 микронной технологии, так что дальше пути линейного развития нет.

2. Усложнение архитектуры процессора, что вызвано стремлением одновременно обрабатывать несколько команд/данных. Это и конвейеризация выполнения как отдельных фаз команды, так и последовательностей команд, супер- и мультискалярная обработка, предсказание выполнения ветвей.

3. Использование параллельной многопроцессорной обработки.

4. Специализация СБИС для решения задач из определенной области приложений (ASIC – application specific integrated circuits).

Параллелизм присущ большинству задач и основная цель разработки параллельных программно-аппаратных комплексов – выбор такого способа отображения задачи в аппаратуру, при котором будет получено приемлемое время решения задачи и будет максимальным соотношение производительность/стоимость.

Предлагаемые микропроцессорные архитектуры поддерживают лишь отдельные типы параллелизма. Отсюда следует, что современные процессоры в той или иной степени являются проблемно-ориентированными, т. е. при решении задач с «чужим видом параллелизма» они показывают производительность значительно ниже пиковой.

Еще один фактор повышения производительности вычислительных систем – использование специализированных СБИС. Это

особенно ярко видно хотя бы из того, что в любом современном компьютере наряду с микропроцессором общего назначения обязательно используются несколько спецпроцессоров: в видеокарте, аудиокарте, сетевой карте, модеме и т. д. При одной и той же технологии производства СБИС наиболее быстрое решение алгоритма можно получить используя «заказные» СБИС, ориентированные на решение определенного алгоритма. Однако это очевидное преимущество является и самым крупным недостатком – узкая специализация означает ограниченную область применения, увеличение времени разработки (если разработка СБИС входит в конструкторский цикл) и высокую стоимость конечных изделий (если СБИС выпускаются в небольшом количестве и стоимость разработки и выпуска входит в стоимость конечных изделий). Вследствие этого возник интерес к реконфигурируемым архитектурам. Реконфигурируемые вычислительные системы (РВС), в английском варианте – reConfigurable Computing Machine (ССМ), – это системы, состоящие из большого количества одновременно работающих процессорных элементов (ПЭ), объединенных перенастраиваемыми связями, архитектура которых может подстраиваться под структуру выполняемого алгоритма. РВС заполняют промежуток между микропроцессорами и специализированными СБИС.

Не следует рассматривать РВС как универсальную альтернативу микропроцессорам и спецпроцессорам. Скорее о них можно говорить как о более гибких, программно-перенастраиваемых спецпроцессорах, рассчитанных на решение достаточно широкого круга задач. Проектирование РВС предполагает определение некоторого набора функций ПЭ и системы связей между ними и с внешними устройствами. Как правило, РВС работает под управлением хост-процессора, который занимается размещением задачи на РВС, обменом с внешними устройствами, а также может выполнять свою часть задачи.

На текущий момент в зарубежных фирмах и университетах и на нескольких российских предприятиях разрабатывается несколько десятков систем, использующих принципы РВС. Часть из них доступна на рынке и обычно выполнена в виде PCI-карты. Разработки по РВС активно поддерживаются DARPA (военное научное агентство в США, координирующее большинство авангардных проектов). В 2001 г. на сайте DARPA (сейчас, к сожалению, доступ к нему закрыт) было около 50 проектов, направленных на развитие этого направления.

Большой интерес представляет японский проект создания ЦВМ пятого поколения [16]. Проект несет в себе ярко выраженный национальный колорит, Япония переживает процесс формирования специфического информационно-ориентированного общества, для которого адекватная обработка и использование информации становятся одним из важнейших направлений деятельности. Эти обстоятельства побудили создать в 1979 г. Комитет научных исследований в области ЭВМ пятого поколения, который возглавил Тору Мото-ока. Проект направлен на создание наземных вычислительных средств, однако, ряд его положений вполне может быть использован для бортовой мобильной техники. Проект имеет ряд спорных аспектов, особенно в области социальных и экономических последствий своей реализации. Тем не менее, не следует преуменьшать его большого значения по ширине охвата проблем вычислительной техники и многочисленности направлений проектирования.

Для дальнейшего подтверждения вектора развития БЦВМ японский проект важен утверждением главенствующей роли параллельных вычислений при решении проблемы повышения производительности вычислительных машин. Кроме того, авторы проекта видят вычислительные средства пятого поколения в виде тесно взаимодействующей совокупности ЭВМ различной структуры, предназначенных и ориентированных для решения своей группы задач.

Следует отметить еще одну тенденцию развития БЦВМ военного применения, заслуживающую большого внимания разработчиков.

За последнее десятилетие подходы к разработке бортовых вычислительных машин подверглись существенным изменениям. Реализация требований со стороны разработчиков авиационных комплексов по вычислительной мощности и скорости информационного обмена потребовала необходимости разработки новых технических решений. Реализация этих решений в свою очередь требует больших капитальных вложений и увеличивает сроки разработки. Для сокращения затрат и сроков разработок была выдвинута концепция применения коммерческих технологий – COTS-технология (COmmercial of-The-Shelf).

Основные цели этой концепции:

- значительное снижение затрат;
- сокращение сроков разработки;

- обеспечение сопровождения (прежде всего электронными компонентами) в течении всего срока службы;
- качественное повышение характеристик (быстродействия, объемов памяти и т.д.).

Эти принципы определенным образом прикладываются к различным составляющим выполняемых проектов – реализациям архитектуры, применению элементной базы, внешним каналам (пользовательским интерфейсам), программному обеспечению и гармонично дополняют концепцию открытой системы.

БЦВМ, разработанные в 90-е гг. XX в., уже перестали отвечать требованиям перспективных проектов и поэтому, начиная с 2000 г., в ОКБ «Электроавтоматика» начались работы по созданию ряда БЦВМ, обеспечивающих реализацию требований авиационных комплексов для самолетов пятого поколения.

Следует отметить широту охвата вопроса, так как работы были организованы одновременно по трем направлениям:

- использование новых высокоскоростных отечественных процессоров,
- создание мультипроцессорных систем,
- разработка систем с глубоким параллелизмом вычислений.

К 2006 г. по всем трем направлениям были получены положительные результаты.

По первому направлению разработаны конструктивно-функциональные модули с использованием высокоскоростных отечественных процессоров типа «Мульткор» 1892ВМЗ (разработчик ГУП НПЦ «ЭЛВИС») и типа «КОМДИВ»: 1890ВМ2Т и 1890ВМ3Т (разработчик НИИСИ РАН)

По второму направлению создан прототип перспективной мультипроцессорной системы. Система состоит из трех вычислительных модулей объединенных системной шиной PCI, обеспечивающей быстрый обмен данными между вычислительными модулями, в качестве внешнего интерфейса используются сетевые интерфейсы типа Ethernet.

Общая производительность такой системы составляет не менее 0,6 млрд оп/с. На рис. 37 приведен прототип этой системы.

По третьему направлению создан прототип матричного параллельного процессора.

В соответствии со всем вышесказанным, а также по результатам выполненных работ в ОКБ «Электроавтоматика» сформулирован облик вычислительной среды пятого поколения.



Рис. 37. Прототип мультипроцессорной системы

Предлагаемая вычислительная система является по своему существу открытой, использующей стандартные системные шины и в качестве своей практической реализации обеспечивает пользователя ресурсами многопроцессорной системы, содержащей три уровня производительности.

Первый уровень – высокая производительность до 50 млн оп/с для решения традиционных задач бортового комплексирования и выполнения host-функций.

Второй уровень – более высокая – до 200 млн оп/с для обработки быстроменяющихся сигналов (радиолокационная и подобная ей информация).

Третий уровень – сверхвысокая производительность до 2–3 млрд оп/с для решения задач повышения уровня «Бортового интеллекта» комплексов (см. выше).

Все три уровня могут действовать совместно.

Следует отметить, что первый уровень освоен в ОКБ «Электроавтоматика» в виде ряда действующих опытных образцов, некоторые из них поставлены заказчику.

По второму уровню произведено проектирование стандартного модуля на основе микропроцессора

Третий уровень представлен прототипом быстрого матричного процессора, на котором получена производительность $1,3 \cdot 10^9$ оп/с. Внешний вид матричного процессора представлен на рис. 38. Он состоит из трех плат: две платы собственно матрицы процессоров и одна плата управления.

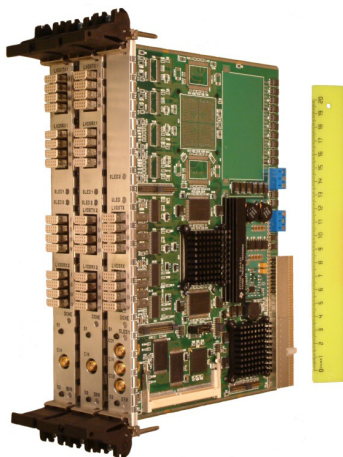


Рис. 38. Матричный процессор

Подобная вычислительная система с ее архитектурой и характеристиками по быстродействию предлагается впервые.

Процессоры и архитектура третьего уровня быстродействия запатентованы или находятся в стадии патентования [17, 18]. Среди подобных разработок отличается простотой, дешевизной и проработанностью. Архитектура третьего уровня принята в качестве базовой в российско-белорусском проекте СКИФ по производству семейства высокопроизводительных вычислительных систем.

Разработка является системообразующей при решении прикладных задач. Позволяет создавать бортовые и иные вычислительные комплексы, используя отечественные производственные мощности.

Решение поставленных задач позволит образовать обширные научно-технические заделы для решения перспективных задач прикладного значения: создание бортовой центральной супервычислительной системы, позволяющей, используя, в основном, отечественные технологии, создать авионику пятого поколения, одновременно решая задачи управления системами вооружения, картографии в любое время суток, контроля состояния пилота, систем самолета и др. с качеством, не доступным для ЦВМ 4-го поколения (разработки 1995–2004 гг.).

Заключение

Первым поколением авиационных БЦВМ явились ЦВМ-263 и ЦВМ-264, проектирование которых было выполнено в Ленинградском ОКБ «Электроавтоматика» в период 1960–1964 гг. Они были установлены на самолеты Ил-38 и Ту-142 и действовали в составе самолетной радио-гидроакустической противолодочной системы «Беркут». Серийный выпуск этих машин ряд лет осуществлял Уфимский приборостроительный завод.

Большой вес ЦВМ-263 и ЦВМ-264 (порядка 350 кг) исключал возможность их установки на легкие самолеты, и поэтому главной тенденцией развития в этот период была борьба за снижение веса, габаритов, потребляемой мощности, повышения надежности работы.

Решение этих вопросов могло быть найдено только на технологическом направлении – использование при проектировании более совершенной элементной базы, нежели примененные ранее дискретные полупроводники.

Таким образом, ряд лет главной тенденцией развития БЦВМ был поиск и внедрение все более совершенной элементной базы и средств ее коммутации. Эти работы породили следующие поколения БЦВМ: второе поколение на гибридных микросхемах, третье на интегральных микросхемах низкого и среднего уровня интеграции и, наконец, четвертое поколение на БИС, СБИС микропроцессоров, запоминающих устройств и схем программируемой логики. Одновременно решались и другие технологические вопросы, например создание адекватных элементной базе соединительных плат, вначале односторонних, далее – двусторонних и, наконец, многослойных. Все эти большие и, подчас, очень сложные работы благотворно влияли на важные характеристики БЦВМ: вес, габариты, надежность, объемы запоминающих устройств, количество пользовательских интерфейсов, которые являются важным рыночным свойством БЦВМ, так как определяют возможную степень их интеграции в бортовой комплекс оборудования.

Более того, в машинах третьего поколения, спроектированных в ОКБ «Электроавтоматика» в 70-е гг. – Орбита-20 и ее многочисленных аппаратно-программных модификациях, благодаря применению прогрессивной по тому времени элементной базы, удалось получить быстродействие по коротким операциям 200 тыс. оп/с. Кроме того, создатели этой машины добились ускорения операции умножения до двух машинных циклов, что существенно поднимало производительность БЦВМ.

К этому времени – 70-е гг. и далее, наряду с сохранением всех ранних требований, все жестче ставился вопрос быстродействия (производительности) машин и надежности их работы.

Таким образом формировались требования к БЦВМ пятого поколения [9].

Вычислительная техника – одно из наиболее динамично развивающихся направлений техники и технологии. В связи с этим история БЦВМ дале-

ко не закончена, и в дальнейшем мы наверняка будем свидетелями новых прогрессивных решений.

Литература

1. Перечень серийно производимых и перспективных базовых средств вычислительной техники, разработанных на основе отечественной элементной базы, архитектурных, системных, программных и конструктивных решений, принятых в КЦП «Интеграция – СВТ», для межвидового применения. М., 2005.

2. Федосов Е. А., Федосеев Е. П., Джанджгава Г. И., Бабалян В. А. Бортовые вычислительные системы перспективных комплексов авионики// Авиационные технологии XXI века: достижения науки и новые идеи: Восьмой Междунар. симп./ ЦАГИ. Жуковский, 2003.

3. Бодрунов С. Д., Ефанов Е. Н. Вопросы применения открытых архитектур в авионике пятого поколения//Аэрокосмическое приборостроение в России. Сер. 2. Авионика. 2005. Вып. 4.

4. Шек-Иовселянц Р. А., Захаревич А. П. Бортовой ПРНПК легкого фронтового самолета 5-го поколения ПРНПК-5. Некоторые результаты предпроектных исследований фрагментов ПРНПК-5//Аэрокосмическое приборостроение в России. Сер. 2. Авионика. 2005. Вып. 4. С. 172 – 198.

5. Васильев С. Н., Жерлов А. К., Федосов Е. А., Федунев Б. Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. М.: Физматлит, 2000.

6. Шек-Иовселянц Р. А. Роль и место бортовых оперативно-советующих экспертных систем при комплексировании БРЭО//Мир авионики. 2007. № 2. С. 36 – 41.

7. ф. Админ, Экспертная система оценки функционального состояния пилотов. Ростов н/Д.

8. Евреинов Э. В., Косарев Ю. Г. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. Новосибирск: Наука, 1966.

9. XILINX Databook. <http://www.xilinx.com/partinfo/databook.htm>

10. Применение ПЛИС в цифровой схемотехнике. http://www.cr.comizdat.com/2001/2001_2/E_PLIS.shtml

11. Стешенко В. Школа разработки аппаратуры цифровой обработки сигналов на ПЛИС. http://www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv/99_08/stat_2.htm

12. <http://pw1.netcom.com/~optmagic/reconfigure/whatisrc.html>

13. <http://www.cs.berkeley.edu/projects/brass/garp.html>

14. <http://www.pactcorp.com>

15. Каляев А. В. Программирование виртуальных архитектур в суперкомпьютерах с массовым параллелизмом//Информационные технологии и вычислительные системы. 2000. № 2. С. 5–21.

16. ЭВМ пятого поколения. Концепции, проблемы, перспективы/Под ред. Т. Мото-ока. М.: Финансы и статистика, 1984.
17. Патент РФ № 2134448. Кл. 6 G 06 F 15/16, 7/00.
18. <http://www.minitera.ru>

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭВОЛЮЦИОННЫЕ МОДЕЛИ**В. В. Меншуткин, А. Б. Казанский, В. Ф. Левченко****Институт эволюционной физиологии и биохимии им. Сеченова РАН**

Предлагаемый очерк призван показать развитие компьютерного моделирования в области экологии и показать неизбежность перехода к эволюционному моделированию. Авторы совершенно сознательно ограничились рассмотрением, в основном, работ петербургских и, в меньшей степени, российских ученых, привлекая иностранные исследования только для демонстрации общих тенденций в развитии кибернетического моделирования в экологии и эволюции. Это совершенно не означает, что рассмотренные примеры были во всех случаях ключевыми этапами в развитии мировой науки. В полном объеме даже самое поверхностное изложение истории экологического моделирования потребовало бы объемистой монографии. Достаточно указать, что весьма не полная библиография, опубликованная кафедрой биофизики МГУ в 1998 г., содержит 1300 позиций, а библиографический справочник под редакцией А. Д. Базыкина (1981), охватывающий только русскоязычные издания по экологическому моделированию до 1980 г. насчитывает более 3000 наименований. В международном издании «Handbook of environment and ecological modelling» (Jorgensen, Halling, Nielsen, 1995.) ссылки на отечественные работы почти полностью отсутствуют, и настоящий очерк призван, хоть в какой-то мере, восполнить этот пробел.

Математические модели популяций и сообществ

Одной из первых моделей популяции была модель популяции промысловой рыбы Ф. И. Баранова (1918)⁷, которая использовала аппарат дифференциальных уравнений и на основании которой

⁷ Федор Ильич Баранов (1886–1965) окончил кораблестроительный факультет Петербургского политехнического института и был выдающимся специалистом не только по динамике численности рыб, но и по конструированию орудий лова. В по-

впервые была поставлена и решена задача об оптимальном антропогенном воздействии на природную популяцию. Работа Ф. И. Баранова явно опередила свое время – ее основные положения были снова открыты в монографии Бивертон и Холта (1957), а сам Федор Ильич подвергался гонениям за применение математических методов в биологии.

Большую роль в восстановлении применения математических и кибернетических методов в биологии, которые долгое время были под запретом и приравнивались к «вейсманизму – менделизму», сыграл заведующий кафедрой зоологии Петербургского (Ленинградского) университета Павел Викторович Терентьев (1903 – 1970). Вышедшие под редакцией П. В. Терентьева сборники «Применение математических методов в биологии» (1960 – 1964) были отправной точкой для развития многих направлений, экологического моделирования в том числе. Сам Павел Викторович предложил метод «корреляционных плеяд», который был незаслуженно забыт, и в конце XX в. вернулся к нам с Запада уже под новым названием «кластерного анализа».

Аналитические модели популяций и сообществ (Свирижев, Елизаров, 1971) довольно быстро исчерпали свои возможности и оказались мало пригодными для решения практических проблем.

Настоящим прорывом в экологическом моделировании было применение электронных вычислительных машин. Первая работа такого рода – модель популяции окуня в озере Херя-ярви (Карельский перешеек) – была выполнена сотрудниками лаборатории озероведения ЛГУ Л. А. Жаковым⁸ и Института эволюционной физиологии АН СССР В. В. Меншуткиным в 1963 г. (Жаков, Меншуткин, 1963). Эта модель обладала всеми атрибутами, которые потом на долгие годы станут обязательными для всякой подобной модели: блок-схема модели и моделирующего алгоритма (или компьютерной программы), формулировка задачи в виде системы дифференциальных или конечноразностных уравнений, идентификация модели по данным независимых природных наблюдений. В по-

следние годы жизни заведовал кафедрой промышленного рыболовства в Калининградском рыбо-хозяйственном институте.

⁸ Лев Андреевич Жаков (1923–2003) заведовал впоследствии кафедрами зоологии в Вологодском пединституте и Ярославском университете. Кроме работ по моделированию популяций и сообществ рыб (озеро Воже) известен капитальным трудом по ихтиоценозам северо-запада России и разработкой компьютерной методики преподавания ихтиологии (1982).

добных моделях элементом обычно является возрастная, размерная или половая группа особей. Процессы, описываемые в модели, представляют собой размножение, смертность, питание и, иногда, кормовые и нерестовые миграции (рис. 1) Характерно, что американская (вернее, канадская) работа аналогичного содержания, выполненная совершенно независимо, была опубликована в 1964 г. (Larkin, Hourston, 1964).

Следующим этапом в развитии экологического моделирования была работа Ф. В. Крогиус, Е. М. Крохина и В. В. Меншуткина «Сообщество пелагических рыб озера Дальнего (опыт кибернетического моделирования)» (1969), которая была удостоена Государственной премии СССР (рис. 2). Особенность этой работы в том, что она основывалась на непрерывном 40-летнем ряде наблюдений на озере Дальнем (Камчатка) за состоянием популяции красной (нерки), важной в промысловом отношении рыбы. Работа велась по заказу Министерства рыбного хозяйства СССР, и ее результаты использовались в ходе работы Советско-Японской рыболовной комиссии при назначении квот выловов. Характерно, что японская сторона могла противопоставить этой модели только разработку с использованием аналоговой вычислительной техники (Doi, 1955), которая не обеспечивала адекватного отображения промысловой ситуации.

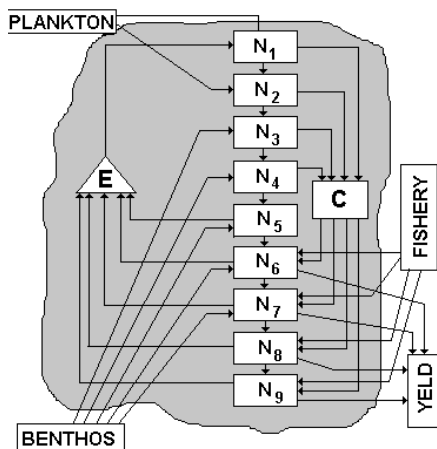


Рис. 1. Блок-схема модели популяции окуня в озере Херя-ярви:
 $N_1 - N_9$ – возрастные группы; E – нерестовое стадо; C – каннибализм;
 PLANKTON – корм в виде зоопланктона; BENTHOS – корм в виде бентоса;
 FISHERY – усилия рыболовства; YIELD – вылов

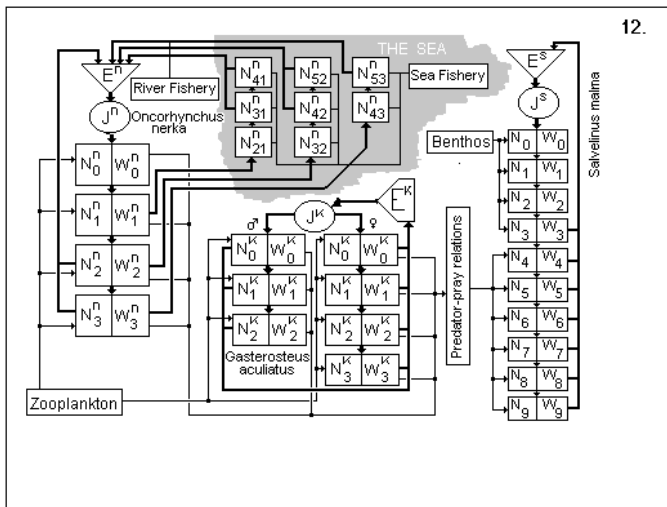


Рис. 2. Блок-схема модели сообщества рыб озера Дальнего (Камчатка):

N^n – возрастные группы нерки; N^k – возрастные группы колюшки;
 N – возрастные группы гольца; W^n, W^k, W – средние массы особей в возрастных группах нерки, колюшки и гольца; E^n, E^k, E^s – нерестовые стада нерки, колюшки и гольца; J^n, J^k, J^s – выживание икры нерки, колюшки и гольца; *Sea Fishery* – вылов нерки в море; *River Fishery* – вылов нерки при ее нерестовой миграции из моря в озеро; *Zooplankton* – кормовая база в виде зоопланктона в озере; *Benthos* – кормовая база в виде бентоса озера; *Predator-prey relations* – моделирование отношений хищник – жертва между гольцом с одной стороны и молодько нерки и колюшки с другой

Модели популяций и сообществ животных, построенные по рассматриваемому типу, получили широкое распространение не только при анализе динамики рыбного населения пресноводных и морских водоемов. По такому же принципу создавались модели популяций и сообществ ракообразных, моллюсков, насекомых, птиц и млекопитающих. Перечислять и, тем более, обсуждать и сопоставлять все эти модельные исследования выходит далеко за рамки настоящего очерка. Укажем только на ограниченность подобного подхода к построению моделей популяций и сообществ животных, которые выявились при их практическом применении в ходе решения проблем оптимальной эксплуатации природных ресурсов. Дело в том, что модели подобного типа, при очень подробном описании процессов размножения, смертности, сложных кормовых взаимодействий и учета влияния абиотических факторов среды, никак не отображали процесс адаптации. Свойство всего живого приспоса-

бливаться к изменению внешних условий оказалось невозможным игнорировать при сильных антропогенных роздействиях на популяции и сообщества (например, перелов, загрязнение среды, преобразование акваторий и ландшафтов). Это привело к поиску новых методов моделирования.

Компьютерные модели экологических систем

В области моделирования экологических систем период аналитического исследования без применения вычислительной техники, в отличие от моделирования популяций, практически отсутствовал. Одной из первых работ по компьютерному моделированию абстрактной водной экосистемы, следует назвать работу Г. Г. Винберга⁹ и С. И. Анисимова (1966). Проблема эвтрофикации озер и водохранилищ породила многочисленные модели подобного типа, основу которых составлял круговорот фосфора, к которому иногда добавлялись циклы азота, кремния и углерода. В качестве примера отечественных моделей подобного типа укажем на модель озера Дальнего (Меншуткин, Умнов, 1971) и озера Плещеево (Кучай, 1993)

Для крупных стратифицированных водоемов оказалось необходимым соединять экологические модели с моделями, описывающими гидродинамические, гидрохимические и термические процессы, которые происходят в водоеме. Примером подобного подхода может служить модель экологической системы Ладожского озера (Астраханцев и др., 2003). Аналогичные по структуре модели разрабатывались для морских и океанических экосистем (Vinogradov et al., 1977).

Моделирование наземных экологических систем (особенно в случае лесных сообществ) требует учета вертикальной структуры экосистемы для описания процесса прохождения солнечной энергии через листву (например, Dixon et al., 1978).

Основу всех рассматриваемых моделей экологических систем составляет баланс одного или нескольких биогенов (углерод, азот,

⁹ Георгий Георгиевич Винберг (1905 – 1987) член-корреспондент АН СССР, заведующий лабораторией гидробиологии Зоологического института, всемирно известный ученый, основоположник отечественной школы продукционной гидробиологии. Работы по моделированию занимают очень небольшое по объему, но важное с точки зрения развития науки, место в творческом наследии Г. Г. Винберга.

фосфор, иногда кремний). Для наземных экосистем очень важным оказывается водный баланс с описанием процессов транспирации и испарения. Из процессов решающую роль в моделях экосистем играют процессы фотосинтеза, дыхания, питания, бактериальной деструкции органического вещества, размножения и смертности. Иногда к этим процессам добавляются процессы миграции живых организмов, связанные с процессами размножения и поиска пищи и оптимальных условий абиотической среды.

На рис. 3 представлена блок-схема двухслойной модели озерной экологической системы с подразделением на эпилимнион и гипolimнион. Это достаточно примитивная модель, в которой не учитываются многие существенные для озерной экосистемы процессы.

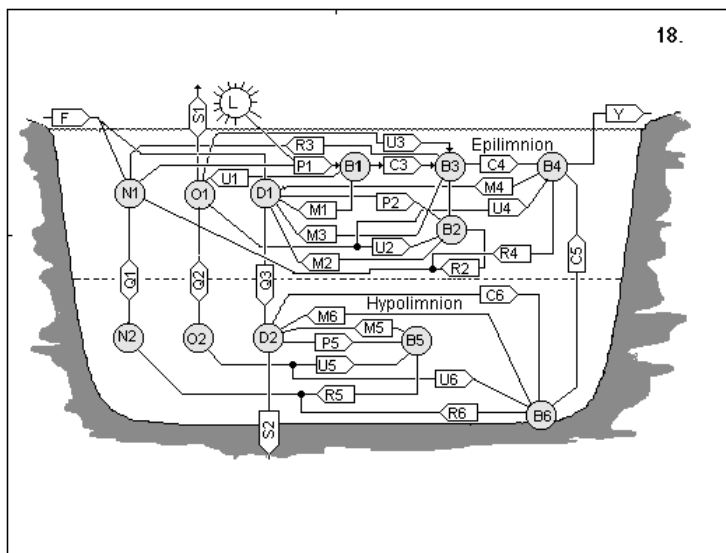


Рис. 3. Блок-схема двухслойной модели озерной экологической системы:

L – солнечная радиация; *B1* – фитопланктон; *B2* – бактериопланктон в эпилимнионе; *B3* – зоопланктон; *B4* – рыбы; *B5* – бактериопланктон в гипolimнионе; *B6* – бентос; *N1* – *N2* – неорганический фосфор;

O1 – *O2* – кислород, растворенный в воде; *D1* – *D2* – детрит;

Q1 – турбулентный перенос фосфора между эпи- и гипolimнионом;

Q2 – турбулентный перенос кислорода между эпи- и гипolimнионом;

Q3 – осаждение детрита; *F* – фосфорная нагрузка; *S1* – обмен кислородом между озером и атмосферой; *S2* – седиментация; *P1* – *P5* – продукции;

C3 – фильтрация фитопланктона зоопланктоном; *C4* – потребление зоопланктона рыбами; *C6* – потребление бентоса рыбами; *M1* – *M6* – смертности;

U1 – *U6* – потребление кислорода при дыхании; *Y* – вылов рыбы

Например, вертикальные миграции зоопланктона, горизонтальные неоднородности экосистемы, в частности выделение литоральной зоны и зарослей макрофитов, рассматривается только круговорот фосфора и тому подобное. Этот пример призван показать, что подобные модели экологических систем весьма сложны, и требуют для своего создания годы работы целых научных коллективов.

Вероятностные модели с элементом в виде особи

Рассмотренные выше типы экологических моделей, по существу, копируют физические методы описания динамики сплошных сред со специфическими преобразованиями вещества. Такой подход очень хорошо соответствует балансовому подходу в фитоценологии (Сукачев, Базилевич) и продукционной гидробиологии (Алимов, 2000). Основные переменные в таких моделях выражаются в виде биомасс. Например, биомасса листьев, биомасса фитопланктона, биомасса хищных рыб или биомасса травоядных животных. Однако это далеко не единственный подход к построению экологических моделей. Так, демография еще со времен Мальтуса (1803) или популяционная генетика оперируют не биомассами, а особями, их числом, возрастом, процессами рождения, гибели или передачи наследственной информации.

В англоязычной литературе модели, в которых элементом является особь, называются «individual-based models» (Grimm, 1999). Адекватный русский термин пока еще твердо не установился, и в качестве не слишком удачного эквивалента будем называть такие модели «индивидуальными». Модели этого типа, как правило, вероятностные. Основное достоинство этих моделей заключается в том, что они позволяют учесть биологическое разнообразие не только на экосистемном, но и на популяционном уровне. Особенность этих моделей в том, что они изначально ориентированы на компьютерную реализацию (так называемые методы Монте-Карло) и почти не поддаются аналитическим методам исследования.

В качестве примера на рис. 4 представлен элемент модели популяции планктонных копепод (низшие ракообразные), причем каждая особь описывалась не только шестью морфологическими параметрами, представленными на этом рисунке, но и возрастом, стадией развития в данный момент времени, а в некоторых вариантах рассматриваемой модели еще и геномом. Важнейшим достоин-

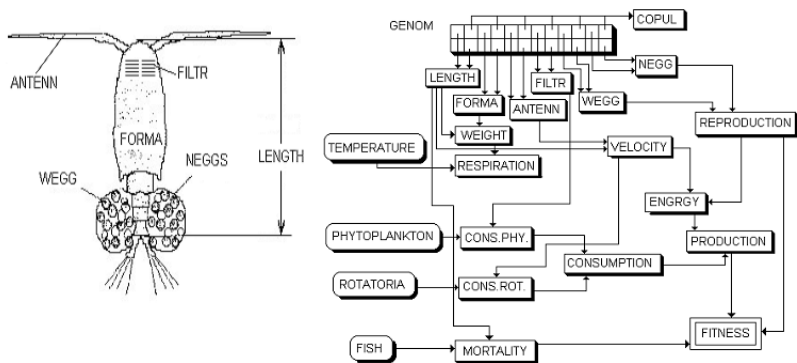


Рис. 4. “Individual-based” модель зоопланктонных ракообразных (копепод). Схема свойств особи и блок-схема определения выживания особи в процессе микроэволюции:

LENGTH – длина особи; *ANTENN* – размер антенн; *FILTR* – развитие фильтрационного аппарата; *WEGG* – масса яйца; *NEGG* – число яиц в кладке; *COPUL* – конструкция копулятивного аппарата; *WEIGHT* – масса особи; *RESPIRATION* – интенсивность дыхания; *VELOCITY* – скорость движения особи; *REPRODUCTION* – эффективность размножения; *ENERGY* – энергетические траты особи; *CONS.PHY* – питание за счет фильтрации; *CONS.ROT* – питание за счет хищничества; *CONSUMPTION* – суммарное потребление пищи; *PRODUCTION* – продукция особи; *MORTALITY* – вероятность гибели особи; *FITNESS* – критерий приспособленности; *TEMPERATURE* – температура среды; *PHYTOPLANKTON* – кормовая база в виде планктонных водорослей; *ROTATORIA* – кормовая база в виде мелкого зоопланктона; *FISH* – давление рыб – планктофагов

ством «индивидуальных» моделей является возможность имитировать с их помощью процесс адаптации к изменяющимся свойствам внешней биотической и абиотической среды. Этой способностью не обладают балансовые модели популяций, сообществ и экологических систем, которые были рассмотрены выше.

Большое распространение получили «индивидуальные» модели в фитоценологии при моделировании лесных экосистем. Это, так называемые, «геп-модели» (Botkin, 1993). В этих моделях каждое дерево рассматривается отдельно со своим годовым приростом, зависящим от многих факторов (освещенность, биогены, температура, вода и др.) и своей вероятностью гибели, которая определяется как природными (возраст, паразиты и пр.), как и антропогенными факторами (сплошная или избирательная вырубка). Из отечественных работ в этой области следует указать на работы В. В. Галицкого (2003).

Модели, основанные на теории конечных и клеточных автоматов

Концепция конечных автоматов и ее применение к биологическому моделированию было начато еще Джоном фон Нейманом и развито Гарднером (1970) в виде игры «Жизнь». В качестве примеров конкретных приложений этого математического аппарата укажем на динамику популяций рыб (Меншуткин, 1967) или развитие форм гидроидных полипов и исследование коэволюции системы хищник – жертва (Грабовский, 1995).

Существо автоматного подхода к построению экологических моделей заключается в том, что состояния моделируемой системы полагаются дискретными. В практических приложениях число этих состояний полагается небольшим и конечным (отсюда термин «конечные автоматы»), хотя при теоретическом подходе может полагаться бесконечным. Достоинство дискретного, автоматного подхода заключается в наглядности и обзорности динамики моделируемой системы в виде ориентированного графа. Другое достоинство – в легкости и естественности компьютерной интерпретации автоматных моделей.

Модели, основанные на нечеткой логике

Теория нечетких множеств (fuzzy set) и нечеткая логика (fuzzy logic), ведущие свое начало от работ Луфти Заде (1965), первоначально нашли практическое приложение при моделировании технических систем (А. Kaufman, М. М. Gupta, 1988). В конце прошлого века модели, основанные на применении нечеткой логики, стали применяться в экологических исследованиях (Salski, 1990, Daunicht et al., 1993). Привлекательность моделей, основанных на нечеткой логике, заключается в том, что при построении модели используются средства, близкие к естественному языку человеческого общения. Для сложных и обычно плохо формализованных экологических систем это особенно важно, поскольку во многих случаях вся информация о моделируемых системах заключается в мнениях экспертов. По существу такой подход к построению экологических моделей является одним из применений в этой области методологии «искусственного интеллекта».

Примером рассматриваемого подхода может служить модель экологической системы региона Бещад (Польша) (Меншуткин,

Клековски, 2000). Основу этой модели составляли 72 высказывания такого типа: «Если численность популяции волков в данном году была высокой, отстрел волков был на низком уровне, и численность оленей и кабанов была средней или высокой, то в следующем году наиболее вероятно высокая численность волков».

Эволюционные модели

Первые математические модели биологического эволюционного процесса относятся к 30-м годам прошлого века. В отечественной литературе одной из первых компьютерных моделей эволюционного процесса была модель А. А. Ляпунова¹⁰ и О. С. Кулагиной (1963, 1966). Дальнейшее развитие это направление получило в исследованиях Коврова и Косолаповой (1981), Меншуткина (1977), Левченко (1993, 2004), Левченко и Меншуткина (1987). Другое направление в моделировании эволюционного процесса имеет своим истоком аналитические построения, ориентированные, в основном, на микроэволюционные процессы и связанные с математической генетикой (например, Wu, 1985, Martinez-Garmendia, 1998).

Теоретической предпосылкой моделирования макроэволюции можно считать методы кладистического анализа (Stanley et al., 1981), который был разработан для целей построения филогенетических деревьев, но ввел в обиход эволюционной теории понятие макромутации.

Другой теоретической предпосылкой моделирования макроэволюции является учение об эволюционно стабильных стратегиях, основанных на биологической интерпретации математической теории игр (Maynard-Smith, 1983). Это учение расширило понятие естественного отбора от отбора по единичному признаку до отбора по всем свойствам особи, включая и весь комплекс популяционных характеристик.

Как правило, модели макроэволюции носят теоретический характер (Гринченко, 2004) и лишь изредка привязываются к реальным биологическим объектам, например граптолитам (Urbanek, Uchmanski, 1990).

¹⁰ Алексей Андреевич Ляпунов (1911–1973) член-корреспондент АН СССР, основоположник русской школы биологической кибернетики.

В последнее время компьютерные имитации эволюционного процесса получили достаточно широкое распространение (McMillan et al., 1999; Nielsen, Slatkin, 2000; Takimoto et al., 2001; Ylikarjula et al., 1999; Zelditch et al., 2000). Все перечисленные работы (кроме Takimoto et al., 2001) используют математический аппарат случайных процессов в тех или иных модификациях, с явной или скрытой формулировкой целевой функции или функции приспособленности и процедуры естественного или искусственного отбора. Основные трудности заключаются в установлении количественной зависимости функции приспособленности от морфологических, физиологических и экологических свойств особей, составляющих популяцию. В этом вопросе имеются только частные решения для конкретных случаев, например окраска рыб-бабочек (McMillan et al., 1999), общий же подход пока остается не разработанным. Другая трудность заключается в формализации соотношения между генотипом и фенотипом. Наиболее широко применяемый при моделировании принцип – «один ген – один признак» биологически обычно не оправдывается, а конкретные данные о структуре полигенных признаков крайне редки.

На рис. 5 и 6 представлены фрагментарные примеры функционирования модели эволюции абстрактного животного («animats» – artificial animalas в англоязычной литературе). Исходная форма представляет собой членистую конструкцию, у которой все членики одинаковы по образу кольчатых червей. В процессе мутаций и естественного отбора конфигурация отдельных члеников меняется, на них появляются конечности различной конфигурации (от антенн до клешней). От ползания и свободного плавания в толще воды модельные организмы приобрели способность перемещения по субстрату при помощи конечностей. Введение в систему абстрактных хищников (см. рис. 6) привело к появлению панциря и, в конечном счете, к возможности выхода из водной среды на сушу. Конечно, это не более чем иллюстративный пример, служащий для демонстрации возможностей генетического алгоритма (Goldberg, 1989).

Имитация процессов эволюции в изолированной популяции хотя и проще с технической точки зрения, но далеко не исчерпывает всех возможных ситуаций, так как при переходе к макроэволюционным процессам биоценоотические отношения в сообществах и экосистемах начинают играть существенную роль (Лекявичюс, 1986). Наиболее удобной для компьютерной имитации является схема прерывистого равновесия (punctuated equilibrium) (Gould,

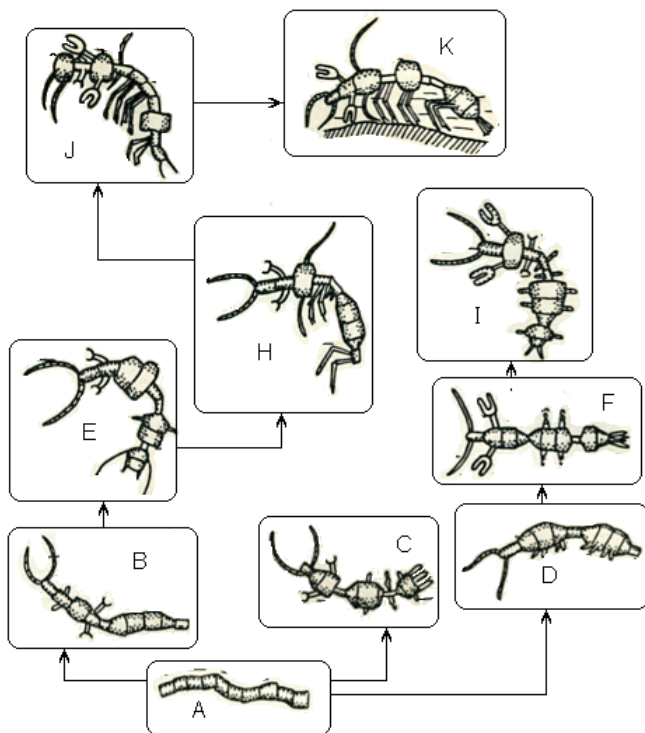


Рис. 5. Фрагмент эволюционного древа, полученного при исследовании модели эволюции абстрактных членистоногих животных (Меншуткин, 1977):

А – исходная форма; I, С – тупиковые ветви эволюции; К – организм, приспособившийся к перемещению по твердому субстрату (бентосная форма). Остальные позиции соответствуют промежуточным формам абстрактных организмов

Eldredge, 1977; Calow, 1983), элементом которой является популяция и которая оперирует макромутациями. О том, что элементом эволюционного процесса является именно популяция, говорил еще Н. В. Тимофеев-Ресовский (1975).

Например, необходимость применения эволюционных принципов при построении модели популяции дальневосточных лососей была связана с тем, что модель, созданная исключительно на использовании биоэнергетических соотношений (Кругиус и др., 1969), по прошествии десятка лет после ее создания перестала адекватно описывать природную ситуацию. Выяснилось, что эко-

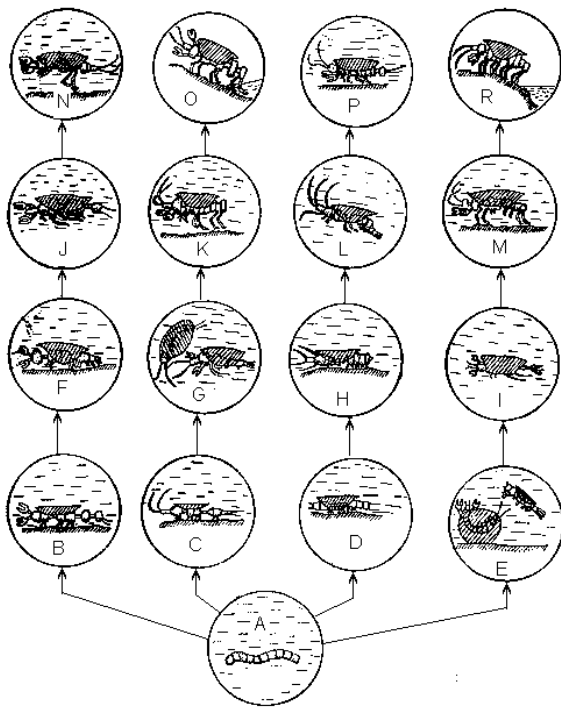


Рис. 6. Фрагмент эволюционного дерева, полученного при исследовании модели эволюции абстрактных членистоногих животных (Меншуткин, 1977), но в отличие от рис. 5 предполагалось наличие абстрактного хищника, эффективной защитой от которого мог служить панцирь:

A – исходная форма; E – прикрепленная форма (по типу усоногих раков), которая оказалась неустойчивой; O, R – организмы, осуществившие выход на сушу; N, P – организмы, приспособившиеся к обитанию в водной среде.

Многочисленные боковые ответвления эволюционного процесса, закончившиеся вымиранием животных, на рисунке не показаны

логические параметры, заложенные в первоначальный вариант модели, существенно изменились со временем, что оказалось связанным с изменением генетической структуры популяции.

Другим побудительным мотивом в использовании эволюционных принципов в экологическом моделировании является недостаток или неопределенность исходных данных. Например, при построении модели популяции гидробионта (зоопланктонного ракообразного или рыбы) требуется более десятка параметров (Мен-

шуткин, 1971), а для построения модели водной экологической системы число параметров достигает нескольких сотен (Меншуткин, 1992). Определение таких параметров, как коэффициенты естественной смертности, коэффициенты избирательности питания, скорости роста и полового созревания, коэффициенты трат на обмен и усвоения пищи, требует постановки специальных длительных и дорогостоящих исследований и экспериментов. Использование литературных данных основывается на предположении о постоянстве используемых параметров в существенно различных условиях, что редко оправдывается на практике. Выходом из создавшегося положения может быть применение в моделях принципов адаптации или микроэволюции, которые переводят указанные выше величины из категории параметров в категорию переменных. Значения этих переменных определяются для каждого конкретного случая при помощи имитации процесса естественного или искусственного отбора (Меншуткин, 2001, 2003).

Понимание того, как сложились современные фаунистические комплексы или сообщества гидробионтов, невозможно без рассмотрения эволюционных и сукцессионных процессов, которые привели к образованию этих комплексов и сообществ. Полнота палеонтологических данных для водных животных является скорее исключением, как, например, в случае радиолярий (Меншуткин, Петрушевская, 1989), чем правилом. Применение метода компьютерного моделирования открывает при исследовании эволюционного процесса исключительные возможности в том смысле, что позволяет воспроизводить не только существующие, но и гипотетические явления. Например, только при помощи моделирования (Меншуткин, 2003) и никакими иными методами можно посмотреть, к каким результатам пришла бы эволюция животного мира, если бы в ней действовали не закономерности открытые Дарвином, а иные, на которых настаивали такие антидарвинисты как Л. С. Берг (1977) и Лима-де-Фария (1988).

Доминирующую роль в описании эволюционного процесса и биологической систематике играют морфологические признаки, которые относительно просто описывать и которые бросаются в глаза даже неискушенному наблюдателю. Однако для выживания животного в процессе естественного отбора отдельные морфологические признаки далеко не всегда играют решающую роль, тут важен весь комплекс экологических, морфологических, физиологических и этологических характеристик на протяже-

нии всего периода онтогенеза. Именно это соображение привело к появлению понятия эволюционно стабильных стратегий (Hines, 1987), в основе которого лежит приложение методов теории игр к процессу эволюции. В настоящей работе теоретико-игровые интерпретации эволюционного процесса не рассматриваются, однако идея эволюционно стабильных стратегий жизненного цикла животного хорошо согласуется с представлениями о функциональной эволюции, разработанной Л. А. Орбели (1958) и его последователями.

Хотя основным действующим объектом в процессе биологической эволюции является популяция (Тимофеев-Рессовский и др., 1977), роль экосистемных и даже биосферных явлений в этом процессе следует учитывать (Margalef, 1997). Идея применения эволюционного подхода к моделированию экологических систем нашла свое воплощение во введении термодинамического понятия «exergy» в экологическое моделирование (Jorgensen, 1994), хотя такой подход встречает определенные возражения, связанные с проблематичностью применения термодинамики в экологии.

Наукометрический подход к публикациям по моделированию

Для наукометрического (Налимов, Мульченко, 1969) исследования публикаций по экологическому и эволюционному моделированию была использована база данных из 1023 моделей, которая по своему составу была близка к библиографическому списку биофака МГУ с учетом личных интересов авторов. Каждая модель, помимо литературной ссылки, описывалась сведениями о типе модели (математическая с аналитическим решением, математическая с численным решением, компьютерная имитация), о характере модели (детерминированная, стохастическая, оптимизационная) и об объекте моделирования. При описании математического аппарата, использованного при построении модели, выделялся аппарат дифференциальных уравнений, конечных автоматов и нечеткой логики. Выделялся класс моделей, основанных на рассмотрении каждого дискретного элемента способного к рождению и гибели («individual-based models»). Отдельно рассматривалось применение в процессе построения или исследования модели аппарата математической статистики или создания специальных средств программного обеспечения.

По назначению выделялись модели технических, экономических и биологических систем. В последнем случае выделялись модели особей, популяций, сообществ и целых экологических систем. По месту нахождения различались модели наземных и водных экологических систем. Для водных экосистем делалось подразделение на модели фитопланктона и первичной продукции, модели зоопланктона и бентоса, модели рыб и водных млекопитающих. С учетом специфических научных интересов авторов выделялись модели, относящиеся к озеру Байкал и к озерам северо-запада России (в особенности к Ладожскому озеру).

На рис. 7 представлено распределение публикаций по моделированию во времени. Уменьшение количества публикаций после 2000 г. можно, в некоторой степени, объяснить особенностями формирования выборки (розыск, изучение и осмысление публикации требует определенного времени). Однако, с другой стороны, достижение насыщения в классической S-образной форме числа публикаций (Налимов, Мульченко, 1969), несомненно, имеет место.

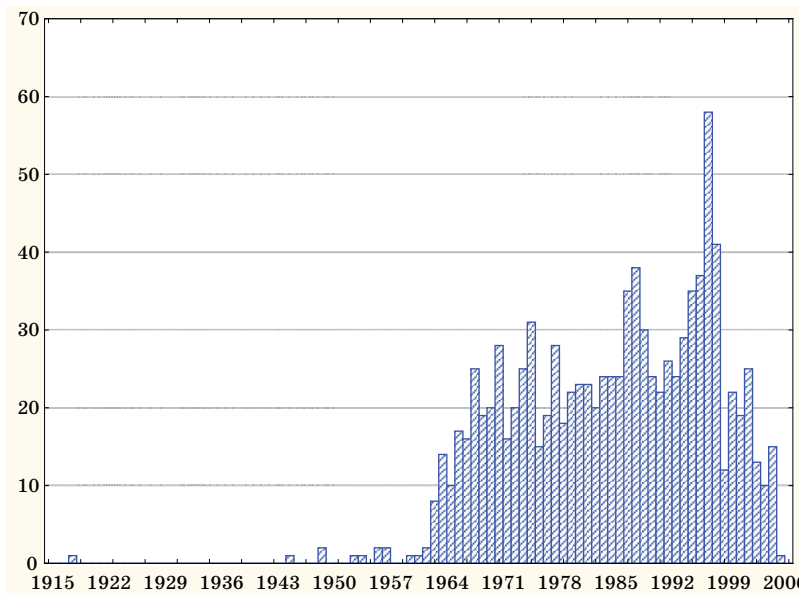


Рис. 7. Распределение числа публикаций по экологическому и эволюционному моделированию во времени. По оси абсцисс – годы, по оси ординат – число публикаций в базе данных

Следующим этапом исследования было установление связей между различными свойствами моделей, описанных в рассмотренной выборке публикаций. Для этого вычислялись коэффициенты ранговой корреляции Спирмена и коэффициенты сходства Серенсена (Миркин, 1980). Корреляционная матрица и матрица сходства не приводятся из-за их громоздкости, а дается только качественное описание их особенностей.

Начнем с математического аппарата рассмотренных моделей. Наиболее распространенным математическим аппаратом являются системы дифференциальных уравнений (коэффициент сходства $K=0.69$). Далее идет использование аппарата конечных автоматов ($K=0.33$), статистических методов и аппарата нечеткой логики. Применение аналитических математических моделей наиболее характерно при решении общих экологических проблем, таких как форма кривой роста, динамика изолированных абстрактных популяций или проблемы конкуренции или хищничества в развитии классических моделей Вольтерра или Баранова. Напротив, при моделировании сложных систем отмечается увеличение доли моделей использующих статистические методы, теорию автоматов и нечеткой логики. Развитое программное обеспечение характерно для моделей, сформулированных в виде системы дифференциальных уравнений, что относится в большей степени к моделям физических, химических и экономических процессов ($K=0.12$), чем к моделям экологическим и тем более эволюционным.

Теперь об объектах моделирования. Для моделирования поведения и жизнедеятельности отдельной особи наиболее характерен метод индивидуального моделирования ($K=0.29$). Такое моделирование более характерно для наземных животных. Это связано с развитием в последние десятилетия средств телеметрии, которая обеспечила исходный материал для построения подобных моделей.

Популяция животных является старейшим и излюбленным объектом моделирования. Наибольшее число моделей популяций в исследованной выборке – это модели популяций рыб ($K=0.49$). За рыбами следуют наземные животные и водные ракообразные. На уровне популяции чаще всего делаются попытки оптимизации антропогенного воздействия на возобновляемые природные ресурсы. Популяционные модели также преобладают в моделях микроэволюции и генетики.

Уровень моделирования сообщества более характерен для растительных наземных сообществ ($K=0.29$) и сообществ фитопланктона ($K=0.27$), чем для сообществ животных ($K=0.17$).

Построение моделей экологических систем характерно для лимнологических ($K=0.54$) и океанологических исследований ($K=0.27$). При этом учет в моделях химических и физических факторов среды происходит гораздо чаще, чем в моделях популяций и сообществ. Для моделей экологических систем характерен учет антропогенных воздействий, и даже создание гибридных эколого-экономических моделей ($K=0.20$).

Совершенно естественно, что модели физиологических процессов почти всегда разрабатываются на уровне особи. Для моделей этого типа характерно широкое применение аппарата математической статистики и реже дифференциальных уравнений.

Эволюционные модели в рассматриваемой выборке публикаций слишком малочисленны (всего 65 названий) для того, чтобы делать достоверные статистические выводы. Отметим, что почти все эволюционные модели имеют стохастический характер. В этих моделях велика доля моделей, использующих индивидуальный подход к моделированию и метод Монте-Карло. Моделей, относящихся к микроэволюции, существенно больше, чем моделей макроэволюции. Объекты эволюционного моделирования очень разнообразны – от гипотетических организмов, не имеющих какой-либо привязки к реальным живым организмам, до вполне конкретных животных и растений.

На рис. 8 представлено изображение свойств рассматриваемых моделей при помощи применения метода многомерного шкалирования. В качестве меры сходства одного свойства (j) с другим (k) применялось манхеттенское расстояние (D_{jk}), представляющее собой сумму абсолютных значений разностей свойств (A_{ij} и A_{jk}) для модели с индексом i . При наличии у модели данного свойства полагалось $A=1$, а при отсутствии $A=0$:

$$D_{jk} = \sum_{i=1}^{1023} |A_{ij} - A_{ik}|.$$

На рис. 8 четко обособилась группа точек (A), которая соответствует моделям водных экологических систем крупных пресноводных водоемов. Это действительно одна из наиболее разработанных областей экологического моделирования, которая включает в себя модели экосистем Великих Американских озер (Верхнее, Мичиган, Эри, Онтарио) и Ладожского озера. Для этих моделей характерно сочетание трехмерных гидродинамических моделей с моделями биотического и абиотического переноса и трансформации вещества в экосистеме.

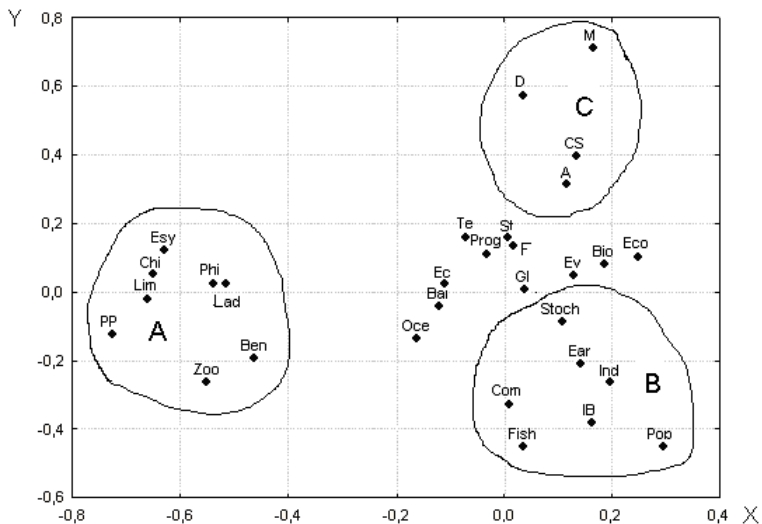


Рис. 8. Результаты многомерного шкалирования 1023 публикаций по экологическому и эволюционному моделированию:

M – математика; D – дифференциальные уравнения; CS – сложные системы; A – автоматы; F – нечеткая логика; Stoch – стохастические системы; St – статистические методы; Prog – программное обеспечение; Ecy – экологические системы; Phi – гидрофизика; Chi – гидрохимия; Lim – лимнология; PP – фитопланктон и первичная продукция; Zoo – зоопланктон; Ben – бентос; Fish – рыбы; Lad – водоемы северо-запада России; Bai – Байкал; Oce – океанология; Eco – экономика; Bio – физиология и биология развития; Ec – общие проблемы экологии; Te – техника; Ev – эволюция; IB – “individual-based model”; Pop – популяция; Com – сообщество; Ear – наземные экосистемы; Gl – глобальные проблемы

Другая группа точек (B на рис. 8) соответствует многочисленным моделям популяций и сообществ животных и растений, в которых часто используется индивидуальный метод моделирования. К этой группе относятся так называемые «геп-модели» (gap-models) растительных сообществ, широко используемые в фитоценологии. Многочисленны модели популяций промысловых рыб, поскольку они имеют существенное прикладное значение при определении допустимых квот вылова. Для этой группы моделей характерен стохастический подход.

В группе C (рис. 8) представлены модели, в которых доминирующую роль играет не столько конкретный объект моделирования, сколько математический аппарат построения самой модели. К этой группе относятся многочисленные варианты модели типа «хищ-

ник – жертва», основанные на исследовании модификаций уравнений Лотки – Вольтерра. Модели, основанные на применении общих принципов теории сложных систем, теории конечных автоматов, относятся к этой группе. Сюда же относятся модели, в которых применяются принципы термодинамики открытых систем.

Эволюционные модели занимают промежуточное положение между группами моделей «В» и «С». Это связано с тяготением эволюционных моделей к стохастическим методам, с одной стороны, и применения нестандартного математического аппарата, при относительно слабой привязке модели к конкретному биологическому объекту.

Заключение

Экологические модели становятся в настоящее время обычным рабочим инструментом при проведении широкого спектра исследований живой природы от разработки чисто утилитарных природоохранных мероприятий и экологических экспертиз до теоретических исследований. Широкое распространение некогда экзотического метода в сочетании с бурным развитием компьютерных технологий порождает трудности методологического и даже философского порядка. Это связано, в первую очередь, с проблемой идентификации модели. Какую модель следует считать правильной и пригодной для практического прогнозирования, а какую модель следует забраковать? К сожалению, универсального ответа на этот вопрос, возникающий почти при каждом модельном исследовании, нет. Для каждого конкретного случая применения достаточно сложной компьютерной или аналитической модели следует оценивать степень достоверности, исходя из реальной степени изученности моделируемого объекта и целей построения модели. Замечено, что во многих случаях простые модели обладают лучшими прогностическими качествами, чем сложные, в которых стараются учесть как можно полнее все наличные сведения об объекте исследования.

Однако область применения компьютерных экологических моделей далеко не исчерпывается определением допустимых квот вылова рыбы или отстрела промысловых животных, оценкой возможного экономического ущерба от поступления загрязняющих веществ в природные экологические системы. Экологическая модель уже давно применяется как средство обучения, подобно тому, как применяются имитационные тренажеры при обучении управлению самолетами или космическими аппаратами. Наконец, модель – это средство научного поиска, средство для проверки гипотез об устройстве окружающего нас мира. Это, по меткому выражению Вольфганга Грима (Grimm, 1994), «free style models» – модели, предназначен-

ные для ответа на вопрос: «А что будет, если предположить, что объект исследования устроен так, как я себе это представляю?». Единственное требование для такого моделирования заключается в том, чтобы исследователь умел изложить свое представление об объекте исследования на языке, понятном компьютеру, иными словами, создать соответствующую программу.

Все сказанное об экологическом моделировании относится и к моделированию эволюционному, с той существенной разницей, что исходные данные крайне бедны, а иногда и просто отсутствуют. Особенно это касается моделирования макроэволюции. Так называемая «неполнота палеонтологической летописи» ставит эволюционные модели в положение недоказанных или слабо доказанных гипотез. Однако другого способа реконструкции эволюции животного и растительного мира на Земле кроме моделирования, просто не существует. Другое дело, что большинство эволюционистов пользуются вербальными моделями, проверка истинности которых встречает несравненно большие трудности, чем проверка истинности компьютерных моделей. В этом, собственно, и заключается весь смысл эволюционного моделирования.

Литература

Алимов А. Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2000.

Алимов А. Ф., Умнов А. А. Модель популяции амфиподы *Gammarus lacustris* // Журнал общей биологии. 1989. № 50 (5). С. 673–681.

Астраханцев Г. П., Меншуткин В. В., Петрова Н. А., Руховец Л. А. Моделирование экосистем больших стратифицированных озер. СПб.: Наука, 2003.

Математические модели в экологии. Библиографический указатель отечественных работ/Под ред. А. Д. Базыкина; ВИНТИ. М., 1981, 224 с.

Баранов Ф. И. К вопросу о биологических основаниях рыбного хозяйства // Известия отдела рыболовства и научно-промысловых исследований. Петроград, 1918. С. 84 – 128.

Берг Л. С. Труды по теории эволюции. Л.: Наука, 1977. 387 с.

Винберг Г. Г., Анисимов С. И. Математическая модель водной экосистемы // Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. М.: Наука, 1966. С. 213–223.

Винберг Г. Г., Меншуткин В. В. Значение математического моделирования для разработки научных основ рационального использования биологических ресурсов пресных вод // Проблемы долгосрочного планирования биологических исследований (зоология). Л.: Наука, 1975.

Галицкий В. В. Компьютерные квазитрехмерные модели дерева и сообщества деревьев. Анализ динамики конкуренции сообщества. Пущино, 2003.

- Грабовский В. И.* Клеточные автоматы как простые модели сложных систем // Успехи современной биологии. 1995. Т. 115 (4). С. 412 – 418.
- Гринченко С. Н.* Системная память живого (как основа его метаэволюции и периодической структуры). М.: Мир, 2004. 512 с.
- Жаков Л. А.* Формирование и структура рыбного населения озер Северо-Запада СССР. М.: Наука, 1984.
- Заде Л. А.* Тени нечетких множеств // Проблемы передачи информации. 1966. Т. II. Вып. 1. С. 37 – 44.
- Иванищев В. В.* и др. Имитационное моделирование природной системы «озеро-водосбор» (Севан)/ ЛИИАН. 1987.
- Игнатъев М. Б.* Голономные автоматические системы/ АН СССР. М.-Л., 1963.
- Игнатъев М. Б.* Адаптационный максимум// Системный анализ и принятие решений: словарь-справочник. М.: Высш. шк., 2004.
- Игнатъев М. Б.* Семиблочная модель города для поддержки принятия решений// Компьютерные модели развития города: Тр. семинара. СПб.: Наука, 2003. С. 40–45.
- Игнатъев М. Б.* Диплом № 25-S на открытие в области кибернетики и системного анализа. 2005, с приоритетом от 28 июня 1963 г.
- Казанцева Т. И.* Балансовая модель мелкого высокоэвтрофного озера // Журнал общей биологии. 2003. № 64 (1). С. 128–145.
- Казанцева Т. И., Смирнова Т. С.* Зоопланктон центральной части Ладожского озера (имитационная модель) / ИЭФИБ. СПб., 1996.
- Жаков Л. А., Меншуткин В. В.* Применение математического моделирования в исследованиях по динамике численности окуня: Докл. X конф. по биологии водоемов Прибалтики. Минск, 1963. С. 104–105.
- Крогиус Ф. В., Крохин Е. М., Меншуткин В. В.* Сообщество пелагических рыб озера Дальнего (опыт кибернетического моделирования). Л.: Наука, 1969. 87 с.
- Кулагина О. С., Ляпунов А. А.* К вопросу о моделировании эволюционного процесса // Проблемы кибернетики: сб. Вып. 16. М.: Наука, 1966.
- Левченко В. Ф.* Эволюция биосферы до и после появления человека. СПб.: Наука, 2004.
- Леквичус Э.* Элементы общей теории адаптации. Вильнюс: Мокслас, 1986. 274 с.
- Ляпунов А. А., Кулагина О. С.* Моделирование эволюционного процесса // Проблемы кибернетики. 1963. Вып. 2. С. 34–47.
- Ляпунов А. А.* Об изучении балансовых соотношений в биогеоценозе (попытка математического анализа) // Журнал общей биологии. 1968. № 29 (6). С. 629–644.
- Меншуткин В. В.* Популяция рыб как конечный автомат // Структура и динамика водных сообществ и популяций. Киев, 1967. С. 165–175.
- Меншуткин В. В.* Опыт имитации эволюционного процесса на вычислительной машине // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 1977. № 13 (5). С. 545–555.

- Меншуткин В. В.* Модель экосистемы пелагиали Тихого океана // *Океанография*. 1979. № 19 (2). С. 318–328.
- Меншуткин В. В., Китаин В. Я., Цейтлин В. Б.* Эколого-генетическая модель облавливаемой популяции дальневосточного лосося // *Вопросы ихтиологии*. 1989. № 3. С. 399–405.
- Меншуткин В. В., Левченко В. Ф.* Имитация макроэволюционного процесса на ЭВМ // *Журнал эволюционной биохимии и физиологии*. 1987. № 23 (5). С. 658–674.
- Меншуткин В. В., Медников Б. М.* Опыт моделирования эволюции нуклеотидной последовательности ДНК на ЭВМ // *Журнал общей биологии*. 1977. № 37 (2). С. 198–203.
- Миркин Б. Г.* Анализ качественных признаков и структур. М.: Статистика, 1980. 320 с.
- Налимов В. В., Мульченко З. И.* Наукометрия. М., 1969. 169 с.
- Свирижев Ю. М., Елизаров Е. Я.* Математическое моделирование биологической систем // *Проблемы космической биологии*. 1972. Вып. 20. С. 5–40.
- Применение математических методов в биологии/ Под ред. П. В. Терентьева. Л.: Изд-во ЛГУ, 1960–1964. 194 с.
- Тимофеев-Ресовский Н. В., Воронцов Н. Н., Яблоков А. В.* Краткий очерк теории эволюции. М.: Наука, 1969.
- Beverton R. J., Holt S. J.* On the dynamics of exploited fish populations. London, 1957.
- Botkin D. B.* Forest Dynamics. N.Y., 1993.
- Daunicht W., Salski A., Noehr P., Neubert C.* A fuzzy knowledge-based model of annual production of skylarks//*Ecological Modelling*. 1993. N 85 (1). P. 67–73.
- Doi T.* Dynamical treatment of exploitation of aquatic resources. Dynamic characteristics of single population// *Bull. Jap. Soc. of Scientific Fisheries*. 1955. N 21 (11). P. 3–22.
- Grimm W.* Mathematical models and understanding in ecology // *Ecological modeling*. 1994. N 75/76. P. 641–651.
- Grimm W.* Ten years of individual-based modelling in ecology: what have we learned and what could we learn in the future// *Ecological modelling*. 1999. N 115. P. 129–148.
- Goldberg D. E.* Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.
- Gould S. J., Eldredge N.* Punctuated evolution: the tempo and mode of evolution reconsidered// *Paleobiology*. 1977. Vol. 3. P. 11–26.
- Kaufman A., Gupta M. M.* Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science. Amsterdam: North Holland, 1988.
- Larkin P. A., Hourston A. S.* A model for simulation of the population biology of Pacific Salmon // *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 1964. N 21 (5). P. 1245–1265.
- Malthus T. R.* An Essay on Population. London, 1803.
- Meynard-Smith J.* Models of evolution// *Proc. Royal Soc. Ser. B. London*, 1983. Vol. 219 (1216). P. 315–326.

McMillan W. O., Weight L. A., Palumbi S. R. Color pattern evolution, assortative mating, and genetic differentiation in brightly colored butterflyfishes (Chaetodontidae) // *Evolution*. 1999. Vol. 53. N 1. P. 247 – 266.

Nielsen R., Slatkin M. Likelihood analysis of ongoing gene flow and historical association // *Evolution*. 2000. Vol. 54. N 1. P. 44 – 56.

Jørgensen, S. E., Halling B., Nielsen S. N. (ed.). Handbook of environment and ecological modelling. Lewins Pub, 1995. 538 p.

Stanley S. M., Signor P. W., Lidgard S., Karr A. F. Natural Clades Differ From “Random” Clades: Simulations and Analyses // *Paleobiology*. 1981. Vol. 7 (1). P. 115–127.

Takimoto G., Migashi M., Yamamura N. A deterministic genetic model for sympatric separation by sexual selection // *Evolution*. 2001. Vol. 56 N 6. P. 1870 – 1881.

Urbanek A., Uchmanski J. Morphogenesis of uniaxiate graptoloid colonies – a mathematical model // *Paleobiology*. 1990. Vol. 16 (1). P. 49–61.

Vinogradov M. E., Menshutkin V. V. The Modelling of Open-Sea ecosystems The Sea: Ideas and observations on the progress in the study of seas. N.Y.: J. Whely and Son., 1977.

Wu C.-J. A stochastic simulation study on speciation only sexual selection. // *Evolution*. 1985. Vol. 39 (1). P. 62–82.

RECURSIVE MACHINES AND COMPUTING TECHNOLOGY**V. M. Glushkov, M. B. Ignatyev, V. A. Myasnikov, V. A. Torgashev**

The paper analyzes disadvantages of traditional computers. It shows that partial revision of von Neumann principles fails to provide a leap in the development of computing technology. New principles of program and structural organization of digital computers are offered. Their name, «recursive computers» (RC), stems from the recursive method of defining their internal language and structure. The main features of their internal language and their tentative architecture are considered, and their capabilities are evaluated.

1. Introduction

More than a quarter of a century has passed since digital computers first emerged. During this period of time, three generations of digital computers have evolved, and their speed, reliability and memory size have increased, while their cost, dimensions and power consumption have decreased.

Yet, the basic principles of digital computer structure and program organization, which were proposed by von Neumann as far back as 1946, remained invariable. These principles include:

- low level machine language (commands are elemental operations performed on elemental operands).
- sequential centralized control of computational process (control is by a single sequence of commands, each providing fulfillment of one operation and passing control to the next command),
- linear organization of storage consisting of similar series-numbered cells.

These principles provide simplicity of digital computer structure and involve a minimum number of logic (active) elements. Such computers (Princeton type, or von Neumann computers) are known as classical or traditional. As long as logic elements were much more expensive and less reliable than memory elements and digitally solved problems remained simple enough and external devices were few, the above principles were certainly progressive. But now they hamper the development of computing technology.

2. Disadvantages of traditional digital computers

Simplicity of traditional digital computer structure results in unjustified complication of software systems, which now seem to reach the upper limit of complexity and still do not satisfy users in many respects. Consider also, that each of the above principles contributes essentially to the complexity of software.

A great gap, for example, between the machine language and the external one is responsible for the emergence of involved translators constituting a major part of any software system. Difficulties related to the development of translators and the large memory sizes required to contain them make software designers prefer less effective languages (such as Fortran, Algol-60) because of their greater simplicity from the viewpoint of translator construction. As for users of medium and, particularly, smaller computers – they have to manage with curtailed forms of external languages. Especially great difficulties arise in constructing translators for deeply recursive languages, which are most efficient in programming complex tasks.

It is obvious that linear organization of storage is not commensurate with the structure of data and programs for the majority of real tasks. As a result, one has to introduce into the software rather elaborate systems of dynamic allocation of memory which, as a rule, require either sophisticated processor hardware and considerable internal memory sizes or great consumption of machine time.

The heart of any software system is the supervisor which integrates all digitally solved tasks into a single program and controls the computational process. Great complexity of the supervisor is attributed primarily to the principle of centralized, sequential control employed in traditional computers, since this principle forces the integration of all programs inside the computer into a unified sequence of commands. A supervisor designer must provide for all situations which may happen in the course of computing.

Another substantial disadvantage of traditional digital computers is that their throughput obviously depends on the speed of their components. When developing super high-speed components for supercomputers capable of performing tens of millions of operations per second, we are approaching the fundamental limitation, namely, the final velocity of electromagnetic wave propagation. It is felt, therefore, that computers of the Princeton type have practicably exhausted their potentialities of raising throughput. As to increasing throughput by paralleling computational processes, it is almost impossible to do so on a large scale (except for some particular tasks), as long as the first two

von Neumann principles remain in force. This is because operational complexity and time consumption of the supervisor and the system of dynamic memory allocation grow in proportion to the number of computational processes performed at a time.

The present rapid advance of microelectronics and the emergence of large scale integrated circuits result in the cost and reliability of logic elements being near those of memory elements; hence, there are grounds to revise the von Neumann principles, as the minimum number of logic elements no longer leads to the minimum cost of the computer (this is especially true if the software cost is taken into account).

3. Revision of von Neumann principles

Most papers on organization of non-traditional computers revise only one of von Neumann's principles (namely, the first one). For instance, [1] gives theoretical reasons for the necessity of the transition to high level internal language and to advanced systems of interpretation. Efficiency of such a transition is proved by the experience gained in designing both small machines (MIP [2]) and large machines (SYMBOL[3]). It should be noted, however, that raising the internal language level more often amounts to just implementing in hardware some of the modern medium-level algorithmic languages (Algol-60, Fortran). As for smaller machines, one has to develop still simpler languages, usually oriented to calculation tasks. The purely sequential, nature of the above languages (and the same is true, by the way, for the overwhelming majority of the other modern algorithmic languages) limits the possibilities of accelerating the interpretation processes through paralleling them on a wide scale. Therefore, for the sake of preserving computer throughput, one has to limit the depth of interpretation which, in turn, does not allow one to simplify essentially the internal software system.

The principle of sequential control of the computational process has remained inviolable over the entire period of computing technology development. Even when developing highly parallel computer systems, designers parallel the very computation through local changes of the internal language level. For instance, the ILLIAC-IV computer employs numerical matrices as operands. In the STARAN-IV computer, we see that for any two-place operation, one operand is an elemental number (or word), while the other one corresponds to a multitude of numbers (words) possessing some common tag. In the STAR-100 computers, the sequences of elemental commands are integrated into operators, employed for one-dimensional numeric or symbolic arrays, with

the commands carried out in the series-connected processors. In all these cases, a partial raising of the machine language level does not facilitate, but even complicates, the problem of software system organization.

Efforts taken over the last decade to develop computers with decentralized parallel control have not resulted in real computers, primarily because only the computer structure was subject to change, while principles of program organization remained traditional. As a result, programming became sharply more complicated for simple tasks, not to speak of powerful software systems.

So, von Neumann machines apparently fail to meet the demands of modern computing technology. However, no convincing alternative to these machines has been proposed as yet. The long life of Princeton type computers is attributed to a profound matching of their structural and program organization and to the mutual harmony of the von Neumann principles. Any partial revision of these principles inevitably involves contradictions between machine structure and computational process organization. Therefore, this way would hardly lead to creation of a viable computer model capable of coping with all tasks modern computing technology may face. Only complete replacement of all the von Neumann principles by a new system of principles, affording as full matching of computer structural and program organization as in traditional machines, can bring success.

Following is a description of these new principles and the appropriate type of computers. Their name, recursive computers (RC), reflects both the structure of their internal relations and the structure of the machine language.

4. Principles of recursive computer organization

The first principle consists of limitless level of machine language; that is, language structure does not limit basically the number of language levels and complexity of operators (commands) and operands. For instance, operands may be represented not only by numbers or sets of characters as in traditional machine languages, but also by vectors, numerical or symbolic matrilines, multidimensional arrays etc. The potential infinity of internal language levels defines its recursive nature unambiguously. Such a language allows one to define all the elements of the lowest level (their number is always finite) and to set recursive rules of transfer from any level elements (except the lowest ones) to the previous level elements. A specific form of RC internal language will be discussed later.

The recursive nature of the internal language provides compact representation of both application and service programs, essentially simplifies the structure of translators from any external languages, affords effective programming directly in a machine language, and brings about conditions for programming in languages close to natural ones.

Such a language, however, is totally incompatible with sequential control of the computation process. In fact, the higher the level of some program element, the more time is spent on its interpretation as computation is carried out at the lowest level. So, with the number of internal language levels growing, the fraction of total machine operation comprising control and interpretation processes increases, and efficient throughput drops accordingly. For faster execution of the whole program, it is necessary to provide extensive paralleling of control processes making transfers to succeeding program elements (commands) without waiting for the end of the previous ones. However, if these elements are complex enough, it is next to impossible to define their sequence of execution in advance. Therefore, the principle of centralized sequential control should be replaced by the principle of decentralized recursive parallel control of the computation process.

The second principle of RC organization is that all program elements for which operands are available are to be executed. Readiness of some operator (program element) for execution is checked only if all higher level program elements comprising the given operator are in the state of execution (interpretation). Such a method of control provides efficient dynamic paralleling of computation processes and permits the removal of interruption processing programs from the software system, since interruptions make no sense in this case; in general, many supervisor functions become unnecessary. Besides, the very process of programming in a language (either internal or external) which employs operands for defining the program execution procedure becomes essentially simplified and, less sensitive to the programmer's errors.

The principle of recursive parallel computation process control is incompatible with the linear organization of storage, primarily because of the need for simultaneous and independent access to different parts of the storage. Furthermore, the problem of dynamic storage allocation becomes essentially unsolvable in this case. In order to fit RC memory structure to the above principle of control, it is necessary to provide an opportunity for program integration of the memory elements into tree-like or net-like multilevel configurations

corresponding to the structure of data and programs represented in the RC internal language. Moreover, all RC internal memory can be divided program-wise into independent parts of an arbitrary size, with each of them corresponding to a certain program element. The number of these parts is dictated, on the one hand, by the number of processors within a RC and, on the other hand, by the number of program elements ready for execution.

The third principle of RC organization is that memory structure should be re-programmable in order to convert the structure of data and programs represented in the internal language. Such a storage organization removes most problems of dynamic storage allocation.

Computers operating on the above principles could have far more forms of structural organization than traditional computers, which usually differ from each other only very slightly. Nevertheless, all machines in question have a common feature, which is an opportunity for unlimited paralleling of computation processes (including control processes). Therefore, these machines could comprise any number, however large, of processors and storage units. As to infinite, non-uniform structures – they can be well described with recursive definitions. Initial elements of the structure, namely zero rank elements, are described, for this purpose, in a usual way. These elements are used to construct first rank machines, which would be elements for constructing second rank machines, which in their turn would be elements of third rank machines, and so on. If the process of transfer from n -rank machines to $n+1$ -rank machines is defined unambiguously for any $n \geq 0$, then the structure of such machines is recursive.

The fourth principle of RC organization is that, basically, there are no limits to the number of machine elements. This offers one an opportunity to design a large RC family ranging from small machines to super-systems and nets of computers, with common construction, technologies and programs. What is more, a great number of functionally equivalent elements available in a machine allows one to radically solve the problem of availability, since failures of certain RC parts would somehow affect parameters but not disable a machine.

Recursive structure rigidly defines connections of elements in a machine. At the same time, establishing certain fixed links does not allow one, in the general case, to fit the structure of programs and data to the machine structure. This inevitably results in more complicated software. To obtain the needed match, one has to incorporate switching elements in the RC providing flexible, reprogrammable connections

between various RC elements, in the way it is done in modern, automatic telephone exchanges. Thanks to this, RC structure could be adapted to the structure of tasks the machine solves.

The fifth principle of RC organization consists of a flexible, reprogrammable structure. Any group of RC elements, possibly remote from each other, with at least one processor among them, can form a relatively independent computer while executing a program.

Spatially sharing various programs in a RC permits the removal of unexpected effects of programs on each other. Replacement of time sharing by space sharing would make the user a full master of a RC part allocated to him. Not only could he use any RC commands, but he could also insert any commands of his own, even in cases when these commands coincide in their identifications and code with RC routines, but have different meanings. This feature would improve RC versatility (compared to traditional computers), and serviceability would increase accordingly.

One naturally can judge to what extent the above principles are effective after they are implemented in actual computers. To gain an idea about recursive machine capabilities, let us consider one of the possible RC versions. The framework of this small paper makes it practically impossible not just to describe a RC in detail, but even to present all its essential features. Therefore, the following part of the paper is, unfortunately, of rather fragmentary nature.

5. Basic features of language of recursive machines (LAREC)

As was mentioned before, RC machine language is multilevel. There are 5 types of LAREC elements.

The initial level of the language comprises the following elements:

- variables,
- lists,
- microprograms,
- operators,
- arrays (LAREC elements of higher levels).

From these, one can establish files, catalogs and blocks.

Any LAREC element consists of a local number, a description and a body. The local number of an element is, to a certain degree, equivalent to its address within a higher level element which directly contains this element. Multilevel language structure makes it possible to restrict local numbers to one byte and to a half byte for operators and some forms of variables. This means that any LAREC element can directly comprise up to 256 elements of lower levels.

The description of any LAREC element defines its type and form and contains, depending on the description's form, a number of parameters defining the internal structure of the element body.

A variable is a LAREC element whose body consists of an ordered population of data which can be considered in the program as an entity (operand for some operator). A RC uses three main varieties of variables: characters, words and lines. Besides, any user of the RC can define up to 256 additional varieties of variables (vectors, matrices, polynomials etc.). The form of a variable also characterizes the elements of its body: numbers may be complex or real, decimal or binary, integers or fractions, fixed or floating point, with fixed or variable format. Apart from numbers, elements of a variable's body may be represented by words consisting of bit or byte characters and by names. One byte is allotted to define any of the main parameters of a variable (formats and word orders, amounts of words within a line). However, there is an opportunity to increase the parameter which characterizes the number of words in a line to two bytes. Thus, a line may comprise 65 536 words. Formats and order (for floating point numbers) are measured in half-bytes. Thus, the maximum size of words within a variable is 128 bytes.

A list is a LAREC element whose body, depending on the list's form, consists of a set of couples: NAME-NUMBER, NAME-NAME, NUMBER-NUMBER, NUMBER-NAME. Lists allow correspondence of the numbers of LAREC elements to their names (external or internal identifiers). Besides, names or numbers of LAREC elements may be changed by means of lists. For instance, during transfer of a variable from one LAREC element to another, the variable's local number is changed. Instead of local numbers of elements, lists use global numbers representing a sequence of local numbers of those LAREC elements which comprise an element sought for. Notice that the first number in this sequence is the local number of the LAREC element directly included in that very element which comprises the list itself, while the last number is the local number of the element sought for. Formats of names and numbers may be defined both for the entire list and individually for each, list element. One byte is allotted for definition of formats or a number of list elements, with an opportunity of expanding to two bytes.

A microprogram is a LAREC element whose body is an ordered sequence of standard format microcommands. Description of a microprogram includes only a number of microcommands constituting

it. The purpose of microprograms will be discussed after the other machine language elements are defined. An operator is a LAREC element whose body contains one or two (depending on the operator's form) local numbers of those LAREC elements which are directly in the same element as the operator. Operators are the simplest elements of the program represented in RC internal language. They correspond, to a certain degree, to traditional computer commands, since local numbers included in the operator's body are addresses of operands. Also, the operator's form defines the type of operation which is to be performed on the operands. However, in traditional machines, each command is associated with only one microprogram, while in RC, each operator is fitted with a variety of microprograms. A concrete microprogram is defined from this variety in accordance with operand forms. For example, one and the same multiplication operator may be associated with multiplication operations such as number by number (binary or decimal, integers or fractions, floating or fixed point), number by line, line by line (multiplication of the respective elements of lines, numbers of elements in operands being equal) and file by file of different dimensions (resulting in a new array whose elements are products of corresponding elements of initial files). The same operator is used both to perform the «AND» operation on binary digits and to integrate two symbolic words into one word inside which a multiplication sign is placed. If one or both operands contain names (not included in lists), then by these names one must find variable numbers and symbols, but not names. Only then can one determine which operation from the operator's work possesses the same local number as the operator does itself.

An array is any LAREC element whose body consists of LAREC elements of lower levels. An array is called one-dimensional if there are no arrays among its elements. Otherwise, it is called multidimensional.

A file is an array whose elements are only variables and/or files.

A catalog is an array whose elements are only lists and/or catalogs.

A block is an array whose elements include either a block's name or whose body consists of only blocks and/or operators. Each block (like each operator) has a 4-digit number. However, different units and operators may be included with the same numbers in an array block only if their simultaneous operation is impossible due to the structure of the block element internal links. Thus, the number of

different elements of array blocks cannot be significantly more than 16. The block body normally includes: a list of input addresses, a list of output addresses (both have the form NUMBER-NUMBER), a list or name catalog (the form NUMBER-NAME), as well as a file of initial conditions and constants, a file of internal variables and an array of microprograms. The last three arrays together with array blocks can be replaced by a block name. Such a block corresponds to the procedure, and in order to carry it out, one has to find the respective arrays by the name.

Any block has input and output ports (up to 16 of each type). The list of input addresses correlates each input port of a block with the output of an adjacent block. The list of output addresses correlates the output port of an internal block with such an output port. Lists of addresses mainly define program structure.

The name list puts names in correspondence with some output ports of internal blocks (including the block with number zero). The name lists provide agreement between external names of program variables and their machine addresses. Besides, the programmer (or translator) can have access by means of the name list to those program elements whose addresses are unknown.

The internal variable array contains output and intermediate results of the block's work. This array is empty before the start of work of the previously operationless block.

The microprogram array contains microprograms providing the realization of internal blocks and operators included in a given block. Before the start of block operation, this array is empty and is gradually implemented in the course of the block operation. However, if the programmer wants to employ his own method of realization of standard operators (blocks) or to give different meaning to these operators (blocks), he can introduce his own microprograms into his program, and the operators (blocks) employed by him would be interpreted in accordance with them.

There are several forms of blocks, differing in the way of execution: free block, block-function, block-compiler, sequential block.

A free block permits an arbitrary order of execution of constituent blocks and operators, depending on the readiness of operands, availability of ready microprograms for operators and availability of free processors and memory modules.

A block-function begins execution only when microprograms are found for the operators included either directly in the block

or in internal blocks. Each operator is correlated with a particular processor, and all these processors are interconnected according to the block structure. This block implements parallel computation the way it is done in analog computers.

A block-compiler also starts computation only when microprograms are found for all its constituent operators. However, these microprograms are compiled into a unified microprogram. And for implementation of the block, only one executive processor is allotted, in which all the operators are executed sequentially. A block-compiler corresponds to traditional methods of execution of programs in computers.

Only one element (block or operator) of an internal block array can be executed in a sequential block at any given moment, after which a successive element starts execution. Operators which are equivalent to transfer commands and are included in the number of the block element permit a change in the natural order of the block element sequence.

Among RC operators are those that provide replacement of any block element (except internal block arrays) by their operands. Thus, there is an opportunity to change external relations of the block, variable names, initial conditions and running values of variables during the course of executing the program.

Among microprograms, one can distinguish: executive, manager (administrator), supervisory, input-output and check microprograms. Executive microprograms correspond to concrete implementations of operators. Administrators provide block operation with each form of block associated with a corresponding administrator. Supervisors allocate RC resources within program blocks, i. e., memory modules, processors, linking elements and external devices. Input-output microprograms provide control of selector and multiplexor channels. And, finally, check microprograms, monitor correct execution of the program, localize and disengage faulty RC elements and recover distorted parts of the program.

6. Architecture of recursive machines

Recursive machines by their essence are multiprocessors. However, if we take modern computer processors and memory units (with a capacity of several K bytes) as basic elements for the construction of a RC, we would see that a RC even of second rank, if not first, reaches, in terms of costs, the level of computation of supersystems, while being still far behind conventional computers in terms of throughput. We are interested in using the recursive philosophy to construct not only

supersystems but also, and to a greater degree, medium- and small-size computers, which form the major part of computer stock. Therefore, one should choose the simplest and cheapest devices as the basic elements of a RC. It is reasonable also to use in processors a sequential method of processing data, especially because in this case data formats can be changed over a wide range. Besides, the fifth principle of RC organization unambiguously specifies sequential transmission of data between RC elements; otherwise, the element connection system becomes practically infeasible. It should be noted that the very structure of RC internal language, though it looks complicated, allows us to simplify RC processors.

Analysis shows that a processor providing execution of any RC machine language elements can be implemented in the form of LSI circuits of MOS transistors with an integration level of some thousands of components. This processor (microprocessor, to be more exact), is as simple as a primitive calculator. Presently, LSI circuits for calculators cost less than \$10, and their cost decreases with every passing year.

Unlike microprocessors, which are much simpler than their traditional prototypes, RC internal storage units become essentially complicated from the functional viewpoint. In particular, it is quite necessary to use an associative mode of data retrieval, without which it is practically impossible to implement the recursive parallel method of control. Besides, it is desirable to have an opportunity to organize buffers and boxes in storage without direct involvement of microprocessors. The second cause of RC storage complication lies in the fact that very small memory units, modules, should be used as basic elements in order to be in line with the third principle of RC organization. But as this takes place, the necessary equipment to control storage naturally increases. On the other hand, absence of sophisticated address decoders offsets, to some extent the increase of equipment in RC storage. Furthermore, the demand for storage element speed becomes significantly less due to the sequential input and output of data and the absence of buses which formerly passed through a great number of storage elements. Moreover, the functional complexity of RC storage calls for charging it with quite a number of functions which are performed by processors in traditional computers.

Hardware expenses of RC memory, for 32-byte modules, increase about 1,5 to 1,7 times costs of traditional memory per bit, implemented in the form of LSI circuits. However, if one takes into account more effective use of RC memory as compared with traditional machines,

due to fitting data structure to storage structure, compact writing of application and service programs and wide use of variable formats, then it turns out that hardware expenses for the same tasks with reference to one bit of stored data are less in RC than in traditional machines.

Unlike microprocessors and memory modules, RC connecting elements have no counterparts in traditional machines. These elements (modules), linked up in a switching field, provide automatic retrieval and connection between different RC parts. Besides direct connections, the switching field makes it possible to form branches from main paths, thus constructing tree-like and net-like structures from microprocessors and storage modules. The microprocessor at the main trunk base may control any tree. This main microprocessor may have access either to all the tree elements simultaneously (for example, during associative retrieval) or to a single branch. Each branch has a number equal to a local number of the respective LAREC element. By using a sequence of local numbers, the microprocessor can have access to any specific tree element. Further, the main processor may allow another processor to be switched to any tree branch. In this case, the allotted branch is at the full disposal of another microprocessor till it is needed by the main one again. While the second microprocessor is busy with the branch, it can, in its turn, allow still another microprocessor to be switched to a part of the branch. Thus, a great number of microprocessors can be switched to one tree at a time. While executing a program, the structure of RC internal relations (its internal architecture) continuously changes. One branch begins to grow and ramify at the expense of adding the nearest free elements. Other branches, on the contrary, die off, since released elements (memory modules or microprocessors) are automatically excluded from the tree. Still other branches pass from one tree to another. As a whole, the internal architecture reflects the structure of tasks under solution, taking into account the recursive structure of the internal language.

RC external architecture is fixed during manufacture of the machine and remains invariable except for the «growth» of the RC due to adding new elements and external devices.

Assume that switching modules (SM's) have 6 groups of external terminals by means of which these modules are interconnected. Let us construct a switching field from the switching modules in the form of a rectangular parallelepiped with the dimensions.

Each of the internal SM's is connected with 6 other SM's, so that all its terminals are engaged. As to peripheral SM's, they have free terminal groups to which the other RC elements can be switched. If we leave one of the sides measuring $1 \times m$ free and connect microprocessor, memory, and input-output modules to the others, we obtain a RC of the first rank. Qualitative correlations between different elements are defined, depending on the class of tasks which the RC is intended to solve, while the arrangement of elements in the switching field can be chosen arbitrarily. After constructing another switching field in the form of a parallelepiped measuring $1 \times m \sim x \times n$ and connecting the RC of the first rank to it, we obtain a machine of the second rank. This process may continue to infinity. In the general case, architecture of such a RC can be defined recursively.

Any RC consists of the switching field constructed in the form of a rectangular parallelepiped. One of the sides of this field contains the external RC terminals, while the other sides are engaged with other RC's (their external terminals) or with RC initial elements (microprocessors, memory and input-output modules).

A minimum RC, in terms of number of elements, contains two microprocessors, one input-output module and several memory modules, part of which are used for storing microroutines. The internal language of such a RC uses only blocks of a sequential form; i. e., the machine operates in a traditional mode. The first microprocessor operates in an administrative mode, while the second one is in an executive mode. Switching modules are unnecessary in this case, for the external architecture agrees with the internal one. Such a RC is equivalent to a powerful calculator. With storage capacity increased to 25 to 30 modules and a set of operators and standard blocks extended, such a machine is capable of solving complex enough, though not demanding, tasks with high throughput. Further growth of the RC, however, requires the introduction of the switching field into the machine and increasing the number of microprocessors.

Recursive machines offer very effective solution of the reliability problem. By using combined methods of hardware and algorithmic check, one can dependably find any errors occurring in the course of computation. The regular structure of the RC makes it possible to localize the faulty element simply enough. If a SM fails, modules adjacent to it set all links going to the faulty SM to the «engaged» position, and now any routes would be laid to by-pass this module. Similarly, other types of failed elements are switched off (the SM

adjacent to the failed element considers this element engaged and does not deal with it any longer). Switching off failed elements involves no changes in programs and does not affect RC operation. True, the limit characteristics of the RC slightly worsen due to switching off, but this worsening would be noticeable only after at least 5% to 10% of all the elements fail. Therefore, large RC's (exceeding 1 000 elements) practically need no repair over their lifetimes.

7. Conclusion

The five principles of structural and program organization of computers set forth in this paper suggest one common idea, RECURSIVENESS. In fact, these principles, in a more concise form, sound like this: recursive internal language of machine, recursive parallel method of control, recursive memory organization, recursive external architecture of machine, recursive internal architecture. So, it is natural to apply this term to machines where these principles are implemented and call them recursive.

In traditional computers, all tasks are tailored to a tough machine structure, which is a Procrustean bed, in truth. The «feet» of tasks are cut off, and so are the «heads» – due to introducing lots of limitations, that sometimes emasculate the essence of tasks. The extreme complexity of modern system software is attributed to the same reasons.

The recursive philosophy of computer organization allows flexible reconstruction of machines in accordance with the structure of tasks. They offer simpler software in many respects, less capacity of working internal memory and lower requirements on the external memory.

Recursive machines consist of a great number of simple elements of small nomenclature interconnected in a regular way. The same elements are used to construct both simple calculators and supersystems. This all favors mass production of RC's with maximum use of LSI and provides for their economic efficiency.

RC's provide an effective solution of the reliability problem, removing the need for repair of the machine over its lifetime (till it grows old morally).

The authors hope that a discussion of the recursive machine concept will make it possible to formulate the main problems of computation technology development.

Published in: Proceedings of IFIP Congress. 1974. P. 66. Reprinted with authors' permission.

V. M. Glushkov, USSR Academy of Sciences Institute of Cybernetics, Ukrainian Academy of Sciences, Kiev, USSR;

M. B. Ignatyev, Leningrad Institute of Aviation Instrument Making, Leningrad, USSR;

V. A. Myasnikov, Main Department of Computing Engineering and Control Systems State Committee of the USSR Council of Ministers for Science and Technology, Moscow, USSR;

V. A. Torgashev, Leningrad Institute of Aviation Instrument Making, Leningrad, USSR.

Содержание

Предисловие	3
Введение.....	6
Глава 1. Научная картина мира и ее эволюция	11
1.1. Мифологическая картина мира	14
1.2. Механистическая картина мира	16
1.3. Неклассическая картина мира	18
1.4. Принцип обратной связи	20
1.5. Самоорганизация и внешнее управление	21
1.6. Трудиться – значит улавливать потоки энергии (работы С. А. Подолинского)	34
1.7. Автоматизация и сложность	39
1.8. Виртуальные наномиры	47
1.9. Пример системы с внешним управлением (текущие угрозы террористических атак на авиационные системы и их отражение с помощью внешнего управления).....	50
1.10. Лингвистический поворот.....	61
Контрольные вопросы	64
Глава 2. Моделирование слабо формализованных систем	66
2.1. Лингво-комбинаторное моделирование и операция поляризации.....	68
2.2. Адаптационные возможности сложных систем	71
2.3. Кибернетическая физика.....	80
2.4. Кибернетическая астрономия и астрофизика	86
2.5. Кибернетическая метеорология	91
2.6. Системная кибернетическая биология	92
2.7. Электронный паспорт здоровья на основе компьютерной модели организма.....	97
2.8. Экономическая кибернетика.....	101
2.9. Кибернетическая герменевтика	106
2.10. Деловая игра «Моделирование города»	108
Контрольные вопросы	109
Глава 3. Роботы и искусственный интеллект.....	112
3.1. Структурирование робототехнических систем	113
3.2. Основные уровни управления поведением робота	118
3.3. Лингвистический подход к анализу уровневой структуры системы управления роботов	120
3.4. Робот как многоцелевая система с избыточностью.....	125
3.5. Основные элементы роботов-манипуляторов	128
3.6. Информационные системы роботов	144
3.7. Системы обработки информации	162
3.8. Построение второго уровня управления манипулятором	164
3.9. Уровни управления шагающей машиной	167
3.10. Роботы для игры в футбол	183

3.1.1. Проблемы создания роботизированного автомобиля для повышения безопасности движения	184
Контрольные вопросы	201
Глава 4. Вычислительные системы и сети	202
4.1. Эволюция архитектуры вычислительных систем	203
4.2. Рекурсивные вычислительные системы	216
4.3. Технологии защиты информации	234
4.4. Технологии системы-на-кристале	235
4.5. Закон Амдала	236
4.6. Мир как модель внутри сверхмашины	238
Контрольные вопросы	241
Глава 5. Миры реальные и виртуальные	242
5.1. Многоагентные обучающие системы – современный подход к образованию	243
5.2. Открытое образование	252
5.3. Дистанционное обучение	255
5.4. Виртуальные образовательные среды	259
5.5. Интеллектуальный и программный агенты	260
5.6. Технологии виртуальных миров в театре	269
5.7. Многовариантная история Петербурга	278
5.8. Репрессированный музей и панорама битвы за Ленинград	284
5.9. Моделирование поля боя	290
Заключение	298
Перечень тем рефератов и дипломных работ	300
Основная литература	303
Дополнительная литература	303
Приложение 1. Шек-Иовсепянц Р. А., Сабо, Б. В. Уткин Ю. И. К истории авиационных бортовых вычислительных систем	308
Приложение 2. Меншуткин В. В., Казанский А. Б., Левченко В. Ф. Экологические и эволюционные модели	374
Приложение 3. Glushkov V. M., Ignatyev M. B., Myasnikov V. A., V. A. Torgashev. Recursive machines and computing technology	398

Учебное издание

Игнатьев Михаил Борисович

КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА

Учебное пособие

Редактор *А. Г. Ларионова*
Верстальщик *С. Б. Мацапура*

Сдано в набор 4.10.10. Подписано к печати 29.12.10.
Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 26,0.
Уч.-изд. л. 26,2. Тираж 200 экз. Заказ № 609.

Редакционно-издательский центр ГУАП
190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67