

34. ДАХО, ф. Р-1163, оп. 2, од. зб. 4105, 290 л.
35. ДАХО, ф. 1682, оп. 2, од. зб. 315, 13 л.
36. ДАХО, ф. 5875, оп. 1, од. зб. 433, 6 л.
37. Балишев М.А., Вавилова І.Б. Династія Струве в історії науки України, Росії та Естонії // Укр. географ. журн. — 2006. — № 3. — С. 63—66.

Одержано 26.09.2007

М.А. Балишев

Научная биография академика О.Л. Струве: проблемы воссоздания, анализ библиографии и источников

Проведен полный библиографический анализ и освещены архивные источники к теме исследования жизни и творчества выдающегося американского ученого-астрофизика украинского происхождения, последнего представителя всемирно известной астрономической династии Струве, академика Отто Людвиговича Струве (1897—1963 гг.). Введены в научный оборот сведения из документов новых архивных источников, выявленных автором.

В.Г. Горохов

Истоки компьютерной революции в развитии радиолокации*

Показано зарождение компьютерной науки “в лоне” радиолокации, формирование базовых представлений радиолокационной теории как неклассической науки (статистической радиолокации), основ компьютерного моделирования сначала аналоговой, а затем и цифровой компьютерной техники, обусловленного необходимостью автоматического управления радиолокационными станциями в составе зенитно-ракетных, а впоследствии ракетно-космических комплексов.

Что дает возможность квалифицировать новую технологию как радикально новую? Этим вопросом задается Б. Винстон в своей книге “Мультимедийные технологии и общество. История: от телеграфа до Интернета” и сам же на него отвечает. Термин “революция”, — утверждает он, — является риторическим приемом и совершенно неверно его вообще применять для описания развития информационных и коммуникационных технологий. “Действительно, — пишет он далее, — в исторической летописи можно наблюдать не только более медленный темп изменений, чем обычно

предполагается, но и такие регулярности в инновационных структурах и их распространении, которые могут быть моделью для всех подобных изменений” [1]. Такого рода моделью и может стать пример с историей развития радиолокационной науки и техники.

Мы обычно идентифицируем разработку информационных и коммуникационных технологий с компьютерной наукой, но существует великое множество определений и мнений, что же такое компьютерная наука: одни считают ее фундаментальной наукой, другие — междисциплинарным научно-техни-

* Статья подготовлена в рамках проекта РФФИ “Изменение парадигмы научно-технического развития в условиях становления глобального информационного общества” № 06-06-80418а.

ческим исследованием, третьи — лишь новым названием кибернетики. Однако по отношению к кибернетике компьютер занимает такое же положение, как физические инструменты относительно физики, а современная компьютерная наука объединяет специалистов, работающих в области кибернетики, логики, психологии и лингвистики, математики и т.д., ученых и инженеров, исследователей и проектировщиков. К компьютерной науке относят информационные системы и средства коммуникации, средства автоматизации и контроля, средства математического моделирования и компьютерного эксперимента. Но по сути дела все эти проблемы возникли и решались первоначально в лоне радиолокации. В последнее время особый упор в компьютерной науке делается на имитационном моделировании, поскольку разрабатываемые средства компьютерного моделирования находят все более широкое применение в самых разнообразных областях науки и техники. Однако впервые эти проблемы также возникли в связи с развитием радиолокационной науки и техники. Поэтому, исследуя их историю, мы одновременно рассматриваем и предпосылки того, что называют компьютерной революцией, но своими глубокими корнями уходит в историю развития радиолокации.

Норберт Винер, отец кибернетики, разрабатывал во время второй мировой

войны проблемы управления зенитным артиллерийским огнем, и многие понятия и идеи, введенные им в кибернетику, пришли именно из этой области, которая и была одним из ранних направлений развития радиолокации. “Вероятно, именно эта последняя работа мотивировала открытие им новой области кибернетики, которую он описал в своей книге “Кибернетика, или управление и связь в животном и машине” (1948). В процессе изучения проблемы управления зенитным огнем в системе противовоздушной обороны Винеру могла прийти в голову мысль о рассмотрении оператора в качестве части управляющего механизма и применения к нему таких понятий, как обратная связь и устойчивость, которые первоначально были придуманы для механических и электрических систем. ... [Кибернетика] внесла вклад в популяризацию образа мышления в таких терминах теории связи, как обратная связь, информация, управление, вход, выход, устойчивость, гомеостазис, прогнозирование и фильтрация”. Винер занимался построением детерминированных стохастических моделей по организации и управлению силами противовоздушной обороны США. Он первым предложил отказаться от практики ведения огня по отдельным целям и разработал новую вероятностную модель управления силами ПВО [2]. После второй мировой войны проблемы создания автоматических систем управления, компьютерного модели-

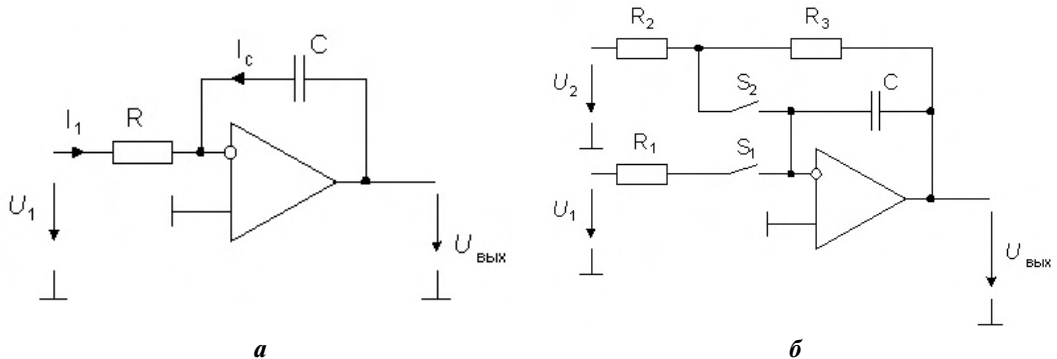


Рис. 1: *а* — схема инвертирующего интегратора, *б* — интегратор с цепью задания начальных условий

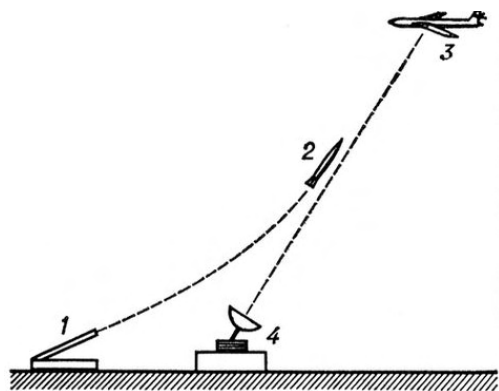


Рис. 2. Схема системы наведения ракеты:
 1 — стартовая установка; 2 — ракета;
 3 — цель; 4 — РЛС

рования, системотехнического проектирования были решены именно в рамках радиолокационной науки и техники.

В этот период формируются базовые теоретические представления радиолокационной теории как неклассической науки (статистической радиолокации), основы компьютерного моделирования сначала аналоговой, а затем и цифровой компьютерной техники, вызванные к жизни необходимостью автоматического управления РЛС в составе зенитно-ракетных, а далее и ракетно-космических комплексов, где человек-оператор не в состоянии принять и реализовать решения по управлению такого рода сложными системами просто даже в силу краткосрочности, почти мгновенности радиолокационных противоракетных действий.

Функционирование радиолокационной системы рассматривается в системотехнике как алгоритм обработки информации. Переход к теоретическому синтезу алгоритмов обработки радиолокационных сигналов стимулировался разви-

тием аналоговой обработки данных с помощью сельсинов, решающих устройств, потенциометров, выполняющих определенные математические операции.

Для реализации операций интегрирования применяются, например, специальные схемы интегрирования. На рис. 1, а приведена схема инвертирующего интегратора на основе инвертирующего включения операционного усилителя. С помощью схемы включения на рис. 1, б "можно реализовать необходимые начальные условия. Когда ключ S_1 замкнут, а S_2 разомкнут, эта схема работает так же, как цепь, изображенная на рис. 1, а. Если же ключ S_1 разомкнуть, то зарядный ток при идеальном операционном усилителе¹ будет равен нулю, а выходное напряжение сохранит значение, соответствующее моменту выключения. Для задания начальных условий следует при разомкнутом ключе S_1 замкнуть ключ S_2 . В этом режиме схема моделирует инерционное звено и после окончания переходного процесса, длительность которого определяется постоянной времени R_3C , на выходе интегратора установится напряжение. После замыкания ключа S_1 и размыкания ключа S_2 интегратор начинает интегрировать напряжение $U_1 \dots$ "².

"В конце войны совершенствование РЛС происходило в направлении как повышения дальности их действия и точности измерений, так и автоматизации отдельных операций посредством автоматических следящих систем для измерения дальности и слежения по угловым координатам (в станциях орудийной наводки), автоматических счётных устройств (в станциях для "слепого" бомбометания) и

¹ Идеальный операционный усилитель характеризуется, например, "мгновенным откликом на изменение входных сигналов (у реальных операционных усилителей время установления выходного напряжения от единиц наносекунд до сотен микросекунд)". Для выполнения "математических операций над сигналами с высокой точностью реальный операционный усилитель должен обладать" определенными свойствами, а именно: высоким коэффициентом усиления по напряжению, малыми входными токами, высоким входным и низким выходным сопротивлением и т.п. "При построении высокоточных схем на операционных усилителях необходимо учитывать влияние неидеальности усилителя на характеристики схемы. Для этого удобно представить усилитель схемой замещения, содержащей существенные элементы неидеальности" (См.: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/op/op_2.htm, ... [op_4.htm](http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/op/op_4.htm), ... [op_5.htm](http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/op/op_5.htm)).

² Схема интегрирования (http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/op/funop_9_2.htm).

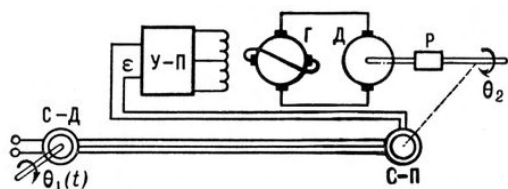


Рис. 3. Схема следящей системы для обработки на выходном валу угла поворота входного вала (У-П — усилитель-преобразователь; Г — генератор; Д — двигатель; Р — редуктор)

т.д. [3]. Вычислительная техника сначала строилась с помощью аналоговых схем, служащих целям управления процессом слежения РЛС за целью, а, проще говоря, управления движением радиолокационной антенны, как это показано на рис. 2. “В следящей системе антенны радиолокационной станции рассогласованием служит угловая ошибка между радиолокационным лучом и направлением на цель; исполнительное устройство — электропривод антенны” [4].

Сигнал рассогласования $\varepsilon = \theta_1(t) - \theta_2$ вырабатывается соединёнными по трансформаторной схеме сельсиномдатчиком (С-Д) и сельсином-приёмником (С-П), связанным с выходным валом ($\theta_1(t)$ и θ_2 — углы поворота входного и выходного валов). “Исполнительным устройством является система “генератор—двигатель” с редуктором; возмущающее воздействие — изменение нагрузки на выходном валу” (рис. 3).

Сравнивающее устройство следящей системы производит “сравнение фактически получающейся выходной величины x с заданной входной величиной $g(t)$ и вырабатывается сигнал рассогласова-

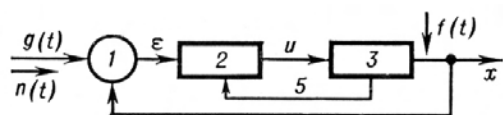


Рис. 4. Блок-схема следящей системы (1 — сравнивающее устройство; 2 — усилитель-преобразователь; 3 — исполнительное устройство; 4 — цепь главной обратной связи; 5 — цепь вспомогательной обратной связи)

ния $\varepsilon = g(t) - x$ ”, где $n(t)$ — помехи, u — сигнал управления, $f(t)$ — возмущающее действие (рис. 4).

“Повышение точности измерения координат ..., сопряжение РЛС с вычислительными машинами и общей системой радиуправления снарядами-ракетами существенно изменили технические и тактические параметры РЛС, ставших важнейшим звеном автоматизированной системы управления средствами ПВО” [3]. На рис. 5 показано, что наряду с радиолокатором сопровождения цели (1) и радиолокатором сопровождения ракеты (2) важное место в радиолокационном комплексе занимает счетно-решающий прибор (3) для передачи управляющих команд.

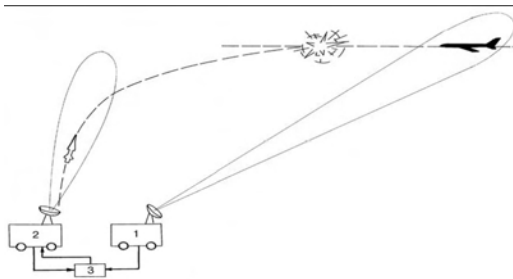


Рис. 5. Радиолокационный комплекс: радиолокаторы сопровождения цели (1) и ракеты (2), счетно-решающий прибор (3)

В современных “неклассических” научно-технических дисциплинах, к которым принадлежит радиолокационная системотехника, важнейшую роль начинают играть проектирование и имитационное моделирование на ЭВМ, позволяющие заранее, в форме идеализированного (компьютерного) эксперимента, проанализировать и рассчитать варианты будущего функционирования сложной технической системы. В начале 1950-х годов в радиолокации начинают все более активно применяться цифровые вычислительные средства. В радиолокационной системотехнике имитационное компьютерное моделирование используется как в процессе функционирования РЛС, например для имитации “целей”, так и в ходе разработки системы,

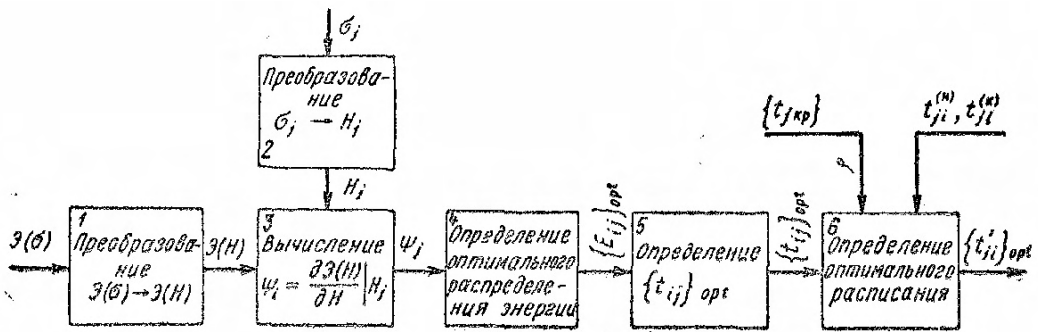


Рис. 6. Пример алгоритмической схемы принятия решений по управлению радиолокационной системой [8]

когда строятся модели проектируемых систем [5]. “Качественный скачок в развитии радиолокационных систем произошел в связи с началом широкого применения вычислительной техники ...” [6]. В результате в настоящее время трудно провести границу между функциями радиолокационных систем и вычислительных устройств.

Общей теоретической основой для синтеза алгоритмов обработки в радиолокационной системотехнике служит теория статистических решений. Сначала задается математическая формула — формульно-логическая (т.е. функциональная) схема, затем на ее основе строится логическая схема алгоритма (см. пример такой схемы на рис. 6), представляющая собой последовательность операций над сигналом (абстрактная поточная схема), которая далее соотносится с выбранной структурной схемой системы. Методы обработки информации в радиолокационных системах описываются в особой теории анализа и синтеза радиолокационных сигналов [7].

В процессе эксплуатации новой системы возникли также сложные проблемы организации ее функционирования, связанные, например, с принципиальной иной и более ответственной ролью операторов РЛС, в особенности на центральном пульте управления. Во-первых, с усложнением системы усложнялись и пульты управления (см. рис. 7), а само

управление такой системой требовало специального инженерного образования. Во-вторых, в связи с необходимостью почти мгновенного принятия решения оператором об идентификации и необходимости уничтожения цели возрастали и требования к системам отображения информации. Требовалось не просто нажать кнопку для пуска ракеты, а принять ответственное решение: или на-

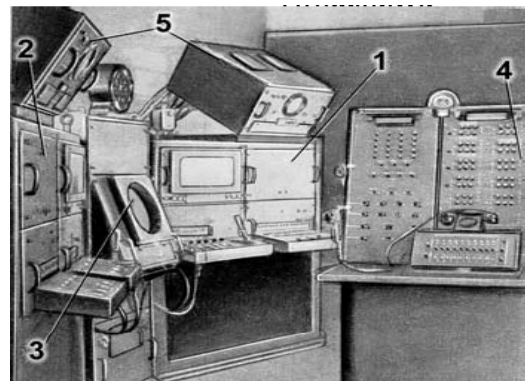


Рис. 7. Рабочие места операторов выбора целей и пуска ракет двух пятиканальных групп (1, 2). Между ними — индикатор воздушной обстановки радиолокатора обнаружения подлетающих целей (3). Рабочие места операторов двух других групп (на фото отсутствуют) расположены симметрично — справа относительно рабочего места командира комплекса (4). Над основными индикаторами — индикаторы функционального контроля (5). На рабочем месте командира: слева — индикация состояния стрельбовых каналов, справа — стартовых столов и ракет на них [9].

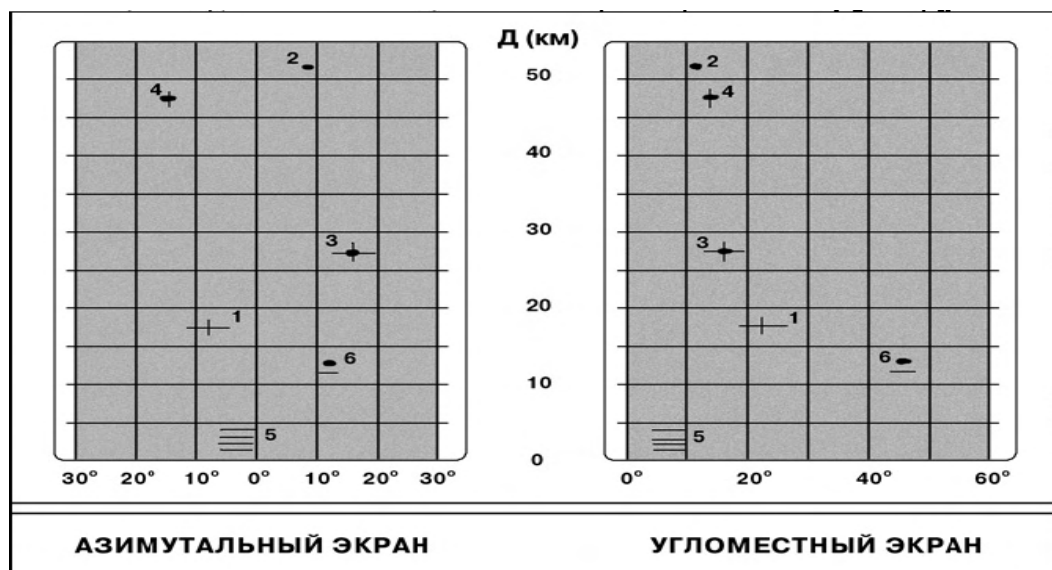


Рис. 8. Экраны индикаторов рабочего места операторов выбора целей и пуска ракет: 1 — управляемая оператором метка захвата цели; 2 — отметка цели; 3 — цель, сопровождаемая каналом данной группы; 4 — цель, сопровождаемая каналом другой группы; 5 — ждущие стробы захвата ракеты; 6 — отметки ракеты и сопровождающих ее стробов

править многомиллионную по стоимости ракету на ложную цель, или не ликвидировать летательный аппарат возможного противника. Стремление к упрощению картинки на мониторе радиолокатора не всегда облегчало, а зачастую затрудняло распознавание цели оператором, так как человеческий глаз быстрее устает от монотонной картины (см. рис. 8). Система, конечно, будет реагировать полностью автоматически после захвата цели РЛС, но команду все равно должен давать человек-оператор. Так возникли новые дисциплины — инженерная психология и эргономика, призванные помочь проектировщикам РЛС определить оптимальные требования к пульту управления системой, а сама система стала рассматриваться как сложная человеко-машинная (а не просто техническая) система. В ходе эксплуатации системы возникали и социально-психологические проблемы, например, в том случае, если роль командира комплекса становилась чисто наблюдательной и его вмешательство в процесс работы системы становилось нежелательным или

часто невозможным. Это требовало и внесения изменений в проект со стороны разработчиков для соответствующей организации рабочих мест операторов и командиров.

“Автоматическое сопровождение не всегда надежно и качественно. Так, при автосопровождении целей, представляющих собой плотные (неразрешимые и по углам, и по дальности) группы самолетов, системы слежения “мечутся” между составляющими такие цели элементами. Возникающие при этом большие ошибки в определении координат целей и их “разрывный” характер препятствуют точному наведению ракет. При наличии отражений от местных предметов возможны переходы следящих систем с целей на источники мешающих отражений. Для таких случаев была предусмотрена возможность сопровождать цели операторами (полуавтоматически). К каждой из 4 групп стрельбовых каналов было придано по одному рабочему месту ручного сопровождения. На их индикаторах район цели, также в координатах “дальность — азимут” и “дальность —

угол места”, отображался в крупном масштабе. Точному сопровождению цели соответствовало положение ее сигналов в центрах обоих индикаторов. На каждом рабочем месте работало по три оператора. Один сопровождал цель по дальности, два других — по угловым координатам. Операторы азимута и угла места использовали соответствующие индикаторы (см. рис. 8). Оператор дальности — любой из индикаторов по своему выбору. Наблюдая цели “в плане” (на индикаторе “дальность — азимут”) и сбоку (на индикаторе “дальность — угол места”), операторы могли сопровождать плотные группы самолетов с приемлемой точностью даже на фоне отдельных мешающих отражений. Узколучевые радиолокаторы, развертывавшие радиолокационную картину в одном измерении (зондировавшие пространство в одном направлении — на цель), таких возможностей не предоставляли. С рабочего места командира ЗРК осуществлялось управление стартовой позицией ЗУР и ЗРК в целом. Производилось включение ракет на подготовку к пускам и контролировался процесс подготовки. Размещение этого рабочего места на некотором возвышении в центре расположенных по кругу рабочих мест операторов стрельбовых групп позволяло командиру ЗРК постоянно наблюдать за всей работой ЦРН”.

Развитие радиолокационной науки и техники следует рассматривать как предпосылку современной компьютерной революции. Это связано в первую очередь с тем, что в радиолокационных системах, связанных с противоракетной обороной, уже не оставалось времени для принятия человеком решений и система должна была автоматически реагировать на постоянно изменяющуюся обстановку, а возможные сценарии развития событий должны быть смоделированы заранее и зафиксированы в памяти радиолокационных станций.

“Первые цифровые электронные машины предназначались, в первую очередь, для военных целей и разрабаты-

вались для создания эффективной системы предупреждения о ракетном нападении, для систем ПРО и ПВО. Один из создателей первых специализированных ЭВМ С.А. Лебедев (главный конструктор вычислительных средств системы противоракетной обороны), выступая на закрытом заседании ученого совета Института электротехники и теплоэнергетики АН УССР 8 января 1951 г., заявил: “Единственным эффективным способом борьбы с дальними ракетами является посылка встречной ракеты. Для этого нужно определить возможную точку встречи. Применение счетно-решающей машины позволит быстро провести необходимые подсчеты траекторий полета ракет, что обеспечит точное попадание”. В 1952—1955 гг. под руководством Лебедева были созданы специализированные ЭВМ для автоматического съема данных с радиолокатора и автоматического слежения за воздушными целями, а в дальнейшем целая серия ЭВМ, предназначенных для систем ПРО, генеральным конструктором которой был тогда Г.В. Кисунько, увидевший перспективность в соединении радиолокационной техники с зарождающейся электронно-вычислительной техникой. Эффективность этого решения была практически подтверждена на испытаниях по уничтожению самолета противоракетой на

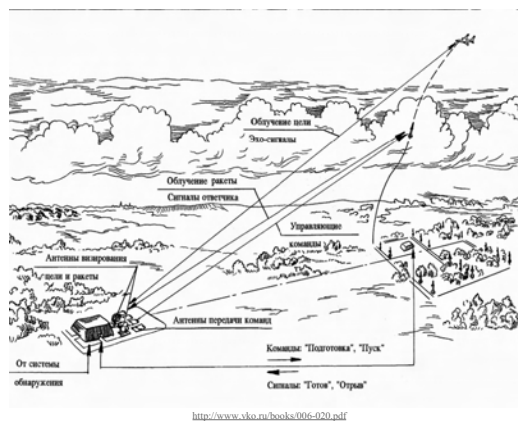


Рис. 9. Схема испытаний по уничтожению самолета противоракетой

полигоне “Капустин Яр”. Полигон был заложен в 1956 г. в районе озера Балхаш. “Всего через год на полигоне вошел в строй первый локатор, успешно фиксирующий все учебные пуски ракет в стране. А спустя еще два года начались стрельбы противоракет при полном составе системы А. Ее компонентами стали невиданные для тех лет радиолокаторы с мощнейшим энергетическим потенциалом, автоматизированная система управления на базе быстродействующей М-40, высокоскоростные и маневренные противоракеты со средствами точнейшего наведения, электроника с цифровым кодированием. Не все поначалу ладилось ... Но в конце концов наступил день, который участники работ запомнили на всю жизнь. — Цель уже в небе, ее ведут все локаторы, вскоре поступит команда на пуск противоракеты. Программист жмет кнопку запуска. Отметка цели на экране. Следом — пуск противоракеты. Спустя несколько минут табло высветило сигнал “Подрыв цели”. На следующий день данные кинофоторегистрации подтвердили: головная часть баллистической ракеты развалилась на куски!” (рис. 9) [10].

Сначала это были с современной точки зрения достаточно простые системы и устройства, но сама постановка такого рода задач заставляла разработчиков искать новые научные и технические решения, особенно для экстремальных условий защиты от ракетного нападения, в которых каждое неверно принятое решение, каждая ошибка могли стать роковыми не только для оператора радиолокационной станции, но и для всей страны.

“Кроме орбитальной группировки, неотъемлемой частью системы является наземный комплекс. Он состоял из четырех постов приема информации и передачи команд ... и командного пункта ... Последний имел в своем составе: наземную станцию приема информации и передачи команд (центральный пост); вычислительный комплекс обработки информации, реализованный на базе

ЭВМ М-10; вычислительный комплекс управления из пяти ЭВМ МСМ-У; комплекс обработки телеметрии; визуальный канал; комплекс средств управления связи и СПД; комплекс документирования и отображения информации (табло результатов обработки информации, табло состояния системы). Обработанная информация поступала на внешние абоненты ... “Мозги” системы составляли программно-алгоритмическое обеспечение (ПАО) управления и ПАО обработки информации. ... в соответствии с техническим заданием процесс обработки специнформации и выработки типовых сообщений должен был быть автоматическим и в него при эксплуатации системы никто не должен был вмешиваться” [11].

Радиолокационная системотехника как комплексная научно-техническая дисциплина отличается от классических технических наук тем, что она формируется нестандартным путем. В классических научно-технических дисциплинах техническая теория строится под влиянием определенной базовой научной (естественнонаучной или научно-технической) дисциплины и именно из нее первоначально заимствуются теоретические схемы и образцы научной деятельности. В случае развития современных комплексных (“неклассических”) научно-технических дисциплин такой единственной базовой теории не существует, поскольку они ориентированы на решение комплексных научно-технических задач, требующих участия представителей многих научных дисциплин, группирующихся вокруг единой проблемной области. При проектировании современных радиолокационных комплексов используются электротехника, радиотехника, теория автоматического регулирования, инженерная психология, вычислительная техника и другие дисциплины. “Разработка системы редко бывает делом одного человека. Она связана с большим количеством дисциплин, а один человек не может быть хоро-



Рис. 10. Структура и функционирование теоретических исследований в неклассических научно-технических дисциплинах

шим специалистом в каждой из них” [12]. На рис. 10 показана структура технической теории в современных комплексных научно-технических дисциплинах, к которым относится и радиолокационная системотехника.

Абстрактные структурные схемы — обобщение структурных схем теории автоматического регулирования, теории сетей связи, теории синтеза релейно-контактных схем и логических схем вычислительных машин и т.п. — развиваются в структурном анализе сложных систем и позволяют “изучать объект в наиболее чистом виде”, анализировать конфигурацию системы, степень связности и надежности ее элементов безотносительно к их конструктивному

исполнению. При структурных исследованиях, например систем автоматического регулирования, в них не остается иного содержания, кроме связей, их числа, дифференциального порядка, знака и конфигурации, уделяется особое внимание выявлению взаимных связей между элементами системы (см. рис. 11).

Современные радиолокационные системы представляют собой сложные комплексы, включающие в себя, помимо радиотехнических устройств, самые различные типы механических блоков, оптические устройства, системы автоматики и вычислительные устройства, параметрические и парамагнитные усилители (применяемые для снижения уровня шума) и т.д. Их описание в виде кинематических, электрических схем, структурных схем теории автоматического регулирования и т.п. не укладывается в “универсальную” онтологическую схему радиотехники — электродинамическую картину мира. Это и стимулировало переход радиолокации к системно-кибернетической онтологии.

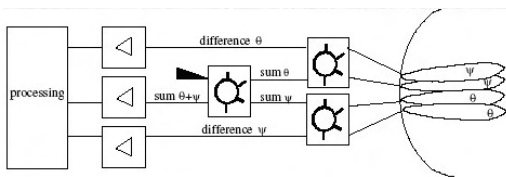


Рис. 11. Пример структурной схемы моноимпульсной РЛС [13]

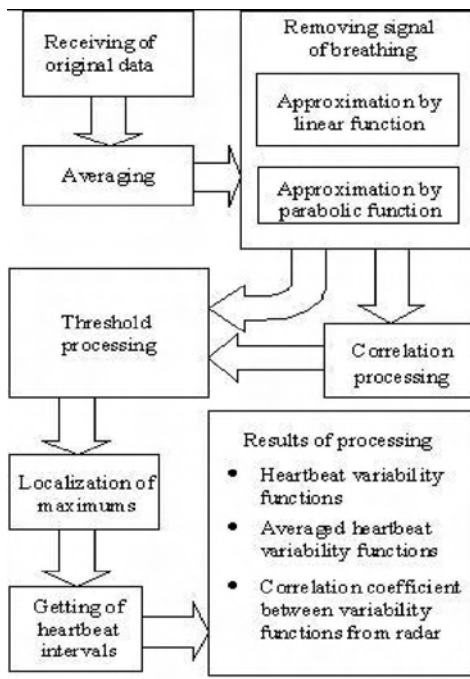


Рис. 12. Пример алгоритма обработки радиолокационного сигнала [14]

Абстрактные алгоритмические схемы обобщены в кибернетике и описывают преобразования потока субстанции (вещества, энергии и информации) независимо от его реализации, дают идеализированное представление функционирования любой системы (в том числе и самой системотехнической деятельности, рассмотренной как система) и служат исходным пунктом программирования на ЭВМ. Они являются результатом абстрагирования от качественной определенности протекающего через систему и преобразуемого ею естественного процесса, который лишь в частном случае будет физическим процессом (см. рис. 12).

Кроме того, в радиолокации одно из важных мест занимает исследование де-

ятельности человека-оператора и проектирование пульта управления радиолокационной системой. Переход к автоматическому сопровождению и к автоматической обработке радиолокационной информации привел к необходимости исследования и проектирования деятельности всей радиолокационной системы, т.е. алгоритма ее функционирования, часть которого может быть реализована оператором. Объектом исследования и проектирования становится не только создаваемая, но и создающая система. Сложный процесс координации разработчиков радиолокационной системы требует четкого описания этапов ее создания (алгоритмов разработки). Это облегчает организацию деятельности больших коллективов разработчиков. Другими словами, объектом исследования и проектирования становится сама инженерная деятельность. В радиолокации важной составной частью и сложным видом инженерной деятельности, требующим высокой научно-технической квалификации, становится организация функционирования и технического обслуживания РЛС. Кроме того, процесс проектирования радиолокационной системы становится эволюционным и не прекращается со сдачей данного типа системы в эксплуатацию. Создаются “самосовершенствующиеся” системы, которые целенаправленно наращивают свою структуру в зависимости от изменения окружающей среды. При разработке радиолокационной системы уже на стадии исследования и проектирования учитываются изменения характера “целей”, которые обусловлены многими социальными и экономическими факторами.

1. *Winston B.* Media Technology and Society. A History: from the Telegraph to the Internet. — L. and N.Y.: Routledge, 2000. — P. 2.

2. *O'Connor J.J., Robertson E.F.* Norbert Wiener (http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Mathematicians/Wiener_Norbert.html).

3. *Богомолов А.Ф.* Радиолокационная станция (<http://www.cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/094/937.htm>).

4. *Попов Е.П.* Слепящая система (<http://www.cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/103/202.htm>).

5. *Моделирование* в радиолокации. — М.: Сов. радио, 1979.
6. *Конторов Д.С., Голубев-Новожилов Ю.С.* Введение в радиолокационную системотехнику. — М.: Сов. радио, 1971. — С. 19.
7. *Вакман Д.Е., Седлецкий Р.М.* Вопросы синтеза радиолокационных сигналов. — М.: Сов. радио, 1973.
8. *Сиверс А.П., Сулов Н.А.* Основы радиолокации. — М.: Сов. радио, 1956.
9. *Альперович К.С.* Годы работы нал системой ПВО Москвы — 1950—1955. Записки инженера. — М.: НПО “Алмаз”, 2003. — С. 41 (<http://www.vko.ru/books/037-051.pdf>).
10. *Малиновский Б.Н.* История вычислительной техники в лицах (<http://www.lib.ru/MEMUARY/MALINOWSKIJ/0.txt>).
11. Система предупреждения о ракетном нападении (www.vko.ru; http://old.vko.ru/print.asp?pr_sign=archive.2005.25.13_13).
12. *Сколник М.* Введение в технику радиолокационных систем. — М.: Сов. радио, 1965. — С. 675.
13. *Wiesbeck W.* Lecture Script “Radar System Engineering”. — 13th Edition. WS 2006/2007/ Institut für Höchstfrequenztechnik und Elektronik; Universität Karlsruhe. — P. 134 (www.ihe.uni-karlsruhe.de).
14. http://www.radar.04_uwbusis_id01.pdf.

Получено 10.01.2008

В.Г. Горохов

Витоки комп’ютерної революції у розвитку радіолокації

Показано зародження комп’ютерної науки “у лоні” радіолокації, формування базових уявлень радіолокаційної теорії як неklasичної науки (статистичної радіолокації), основ комп’ютерного моделювання спочатку аналогової, а потім й цифрової комп’ютерної техніки, зумовленого потребою керування радіолокаційними станціями у складі зенітно-ракетних, а надалі ракетно-космічних комплексів.

Т.В. Кіличицька

Формування загальної теорії нелінійних коливань школою Л.І. Мандельштама

Показано досягнення академіка Л.І. Мандельштама, його учнів і послідовників у розробці теорії нелінійних коливань.

На початку ХХ ст. набула швидкого розвитку радіотехніка, вивчення процесів в електричних лампах показало, що проходження електричного струму у вакуумі не відбувається за законом Ома (напруга не прямо пропорційна силі струму). Шкідливий коливальний процес в радіотехніці знайшов своє застосування для генерації незатухаючих електромагнітних коливань (автоколивання). Проблеми стійкої генерації незатухаючих коливань, трансформації частоти, стабілізації, примусової синхронізації, модуляції та демодуляції та інші мали бути вирішені за допомогою введення в коливальні системи нелінійних елементів та розв’язання нелінійних дифе-

ренціальних рівнянь, оскільки в суто лінійних коливальних системах не можуть існувати сталі коливальні режими, що не залежать від початкових умов. У результаті поступово в різних галузях науки і техніки, зокрема в акустиці, радіофізиці, фізиці твердого тіла, статистичній фізиці, почала зростати кількість аналогічних проблем, які вимагали швидкого їх вирішення. Теорія лінійних диференціальних рівнянь, до того часу досить добре розроблена, не могла описувати нелінійні процеси, бо в них суттєву роль відігравала нелінійність, абстрагуватись від якої в таких задачах було неможливо. Станом на кінець 20-х років ХХ ст. існували окремі методи роз-

© Т.В. Кіличицька, 2008