**Создание систем управления баллистическими ракетами подводных лодок**

**Н.А.Семихатов** академик. Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Государственной премий, **В.В. Чеботарев** кандидат технических наук

Проектирование систем управления баллистическими ракетами, стартующими с подводных лодок (БРПЛ), на всех этапах было связано с решением целого ряда крупных научно-технических проблем, в частности:

- с обеспечением постоянной готовности к старту баллистической ракеты (БР) из любой заранее неизвестной точки Мирового океана, в любое время года и суток с малым временем предстартовой подготовки и высокой точностью стрельбы;

- с управлением стартом БР с качающегося основания;

- со стабилизацией движения БР на начальном, в том числе на подводном и переходном участках движения ракеты;

- с предстартовой ориентацией комплекса командных приборов (ККП) системы управления по азимуту и горизонту и в связи с этим - согласование координатных систем навигационного комплекса подводной лодки (ПЛ) и системы управления (СУ) БР;

- с определением начальной скорости БР на момент пуска с движущейся ПЛ;

- с минимизацией объема рассчитываемых перед стартом исходных данных для управления полетом с целью обеспечения возможности оперативного расчета перед стартом полетных заданий для всех ракет залпа;

- с обеспечением предельно малого и гибкого времени предстартовой подготовки и интервалов между пусками ракет залпа для оптимизации общего времени стрельбы с целью обеспечения безопасности ПЛ.

Следует особо отметить сложность выполнения системой управления требований по высокой точности стрельбы, учитывая следующие факторы:

- точность стрельбы БРПЛ должна обеспечиваться с учетом ошибок навигационного комплекса ПЛ в знании координат, направления меридиана и скорости ПЛ в точке старта;

- стрельба по заранее неизвестным трассам имеет, как правило, повышение ошибки геодезического обеспечения в точке старта и по траектории полета;

- жесткие требования к массогабаритным характеристикам (МГХ) командных приборов создают трудности в обеспечении их прецизионной точности;

- предстартовая ориентация, периодические и предстартовые тарировки ККП проводятся в условиях качки ПЛ, что требует компенсации соответствующих динамических ошибок систем приведения и тарировки ККП.

Стрельба БРПЛ по заранее неизвестным трассам, внедрение двигателей на твердом топливе с нерегулируемой тягой, переход к многоэлементной боевой нагрузке, неблагоприятные характеристики БРПЛ как объекта управления заставили разработчиков СУ синтезировать более совершенные алгоритмы управления для минимизации погрешности расчета и отработки прогнозируемого промаха в полете ракеты. Требования по точности стрельбы для всех ракетных комплексов БРПЛ задавались на уровне максимально возможных для соответствующего этапа развития отечественной науки и техники, в результате чего при разработках СУБРПЛ за последние 20лет точность стрельбы потребовалось улучшать более чем на порядок. Жесткие ограничения по габаритам и массе аппаратуры СУБРПЛ, высокие требования по надежности, отсутствие доступа к бортовой аппаратуре за время эксплуатации потребовали развития новых оригинальных методов и технологии изготовления бортовых приборов СУ. Значительные трудности в обеспечении работоспособности и прецизионной точности приборов СУ вызывали некомфортные условия при разделении ступеней, обусловленные ограничениями МГХ БРПЛ и применением для этой цели пиротехнических средств. Ограничения по длине БРПЛ обусловили существенную аэро- и гидродинамическую неустойчивость БРПЛ и, как следствие, вызвали значительные научно-технические сложности при решении задач стабилизации их движения на подводном и воздушном участках полета.

Анализ направлений работ по созданию первых образцов СУБРПЛ показал, что по принципам управления и обеспечению точности стрельбы можно выделить следующие этапы разработки СУ.

I этап - использование чувствительных элементов (ЧЭ) инерциальной навигации, жестко установленных на борту БРПЛ, простейших функционалов управления полетом, реализуемых электромеханическими устройствами.

II этап - использование ЧЭ, стабилизированных в инерциальном пространстве, решением в СУ по их показаниям задач инерциальной навигации, использованием сложных, обладающих малыми методическими погрешностями функционалов управления. Решение всех этих задач потребовало разработки и использования в составе СУБРПЛ, впервые в отечественном ракетостроении, бортовых вычислительных комплексов.

Анализ результатов проектирования, летных испытаний и эксплуатации БРПЛ с СУ IIэтапа показал, что из-за действия специфических для морских ракет факторов, влияющих на точность стрельбы (ошибки навигационных комплексов (НК) ПЛ в определении координат и направления меридиана в точке старта, ошибки предстартовой ориентации ККП СУ в условиях движущегося и качающегося основания), дальнейшее развитие инерциальных СУ не позволит выполнить возрастающие требования по точности стрельбы. В связи с этим в 1960-1970гг. Научно-производственным объединением автоматики (НПОА) совместно с Конструкторским бюро машиностроения (КБМ) и смежными организациями были проведены исследования, направленные на разработку концепции обеспечения требований по точности стрельбы для разрабатываемых и перспективных БРПЛ. Из приведенных исследований следовал принципиальный вывод о том, что во время полета морской баллистической ракеты необходима коррекция траектории с использованием естественных или искусственно созданных навигационных полей.

К основным особенностям выбранной концепции относились:

Использование в полете коррекции траектории по результатам измерения координат навигационных звезд (астрокоррекции), позволяющей компенсировать влияние на точность стрельбы основных специфических для БРПЛ факторов.

Коррекция траектории полета по результатам навигационных измерений параметров движения БР относительно искусственных спутников Земли, входящих в единую космическую навигационную систему.

Внедрение так называемых прямых методов определения в полете ракеты текущего прогнозируемого промаха, на основе расчета пролонгированной траектории до точки падения, что позволило снизить методические ошибки управления и уменьшить объем расчетов при предстартовой подготовке.

Использование терминальных (граничных) способов управления, где в качестве конечных условий управления БР, наряду с традиционными критериями (отклонения точек падения от цели), задаются дополнительные условия (полное выгорание топлива, время полета, угол входа в атмосферу и т.п.).

Внедрение тарировок точностных параметров ККП СУ при постоянном их задействовании или при периодических включениях, что позволило уменьшить влияние на точность стрельбы изменения параметров ККП за время эксплуатации БРПЛ и повысить точность стрельбы во всех режимах работы СУ.

Использование статистики оптимальных систем для обработки всей навигационной информации как при предстартовой подготовке, так и при полете.

Принятие особых мер, обеспечивающих повышение точности стрельбы в инерциальном режиме (ИР) работы СУ, как наиболее защищенном от внешних и внутренних специфических возмущающих факторов.

Реализация этих положений привела, впервые в мировой практике создания СУБР, к разработке начиная с 60-х годов высокоточных инерциальных СУБРПЛ, корректируемых на активном участке полета ракеты по астроспутниковой информации. Разработанные в НПОА и внедренные при проектировании современных СУ высокоточные прямые методы определения терминальных параметров явились основой способов управления БРПЛ с многоэлементной полезной нагрузкой, управления БРПЛ при построении различного вида нетрадиционных траекторий полета и особенно управления полетом по методу “гибких” траекторий.

Использование астро- и радиокоррекции не снимает необходимости в систематическом проведении работ по совершенствованию точностных характеристик СУ в инерциальном режиме ее работы. В рассматриваемый период времени эти работы велись в основном в направлении снижения тех погрешностей, которые наибольшим образом влияют на точностные параметры БРПЛ. В этих направлениях всеми разработчиками проведены очень большие и серьезные работы, приведшие к конкретным положительным результатам. Совершенствование тактико-технических характеристик СУ проводилось в неразрывной связи с улучшением точностных и эксплуатационных параметров комплекса командных приборов. Начав в 50-60-х годах с использования так называемой “рассыпной” структуры ККП - гирогоризонтов, гировертикантов для угловой и линейной стабилизации изделия и гироинтеграторов для управления дальностью полета, разработчики уже в 60-е годы перешли на гиростабилизаторы. Наряду с этим продолжалось совершенствование гироскопов с опорами на шарикоподшипниках, внедрялись более прогрессивные типы подвесов гироузлов - поплавковые (НИИАП), газостатические (НИИКП), дающие дополнительные резервы для повышения точности работы гироскопических приборов.

Для обеспечения работы ККП в составе СУ осуществлен поэтапный переход от аналогового взаимодействия с аппаратурой системы управления к цифровому, разработаны высокоточные датчики команд, выходные датчики гироинтеграторов позиционного типа, позволяющие решить задачу защиты выходной информации с ГИ в условиях возможных сбоев электронной аппаратуры СУ, существенно углублены знания по математической модели погрешностей в заданных условиях эксплуатации, позволившие внедрить периодические и предстартовые тарировки приборов, и пр. Введение астроинерциального режима работы СУ потребовало размещения на гиростабилизированной платформе телеблока астровизира с азимутально-высотным подвесом, что создало дополнительные трудности при обеспечении высоких точностных характеристик ККП и при минимизации их массогабаритных характеристик. Во всех режимах работы СУ (инерциальный, астроинерциальный, радиоинерциальный) влияние инструментальных ошибок ККП на точность стрельбы являлось определяющим.

С тарировками ККП в морских ракетных комплексах, располагаемых на движущейся подводной лодке, дело обстояло значительно сложнее. Общеизвестно, что сигналы, пропорциональные систематической части погрешностей ККП, составляют весьма малую величину, которую необходимо выделить из общего суммарного сигнала, во многие тысячи раз превосходящего полезную информацию. Из кинематической схемы движения видно, что суммарные сигналы определяются двухкомпонентной качкой ПЛ, ее продольным движением, параметрами орбитального перемещения корабля и взаимным расположением центра тяжести, центра объема подводной лодки и установкой шахт с ракетами. Для решения этой сложной и принципиально новой научно-технической проблемы для ракетных комплексов ВМФ были привлечены соответствующие институты Академии наук СССР, представители передовых ведущих высших учебных заведений страны и самая квалифицированная группа ученых и инженеров из разработчиков СУБРПЛ. Совместными усилиями специалистов этого большого коллектива впервые в отечественной практике были разработаны способы и алгоритмы динамической компенсации “мешающих” сигналов, вызванных движением ПЛ.

Реализация мер по повышению точности навигационного обеспечения стрельбы БРПЛ, ККП, системы ориентации ККП и выработки начальных условий, а также внедрение совершенных алгоритмов управления и тарировки точностных параметров ККП позволили обеспечить повышение точности стрельбы БР в инерциальном режиме в несколько десятков раз и выполнить предъявляемые генеральным заказчиком требования по уровню точности соответствующих ракетных комплексов ВМФ.

Для достижения заданных характеристик в Научно-производственном объединении автоматики (НПОА), как головной организации СУ, совместно со смежными организациями были разработаны и внедрены в соответствующие комплексы БРПЛ алгоритмические, аппаратурные и программные решения, обеспечивающие реализацию заданных требований по точности стрельбы для современных и перспективных ракетных комплексов. Эти решения прошли полный объем наземной отработки. Летные испытания и эксплуатация СУБРПЛ подтвердили ожидаемую высокую эффективность соответствующих комплексов.

Характерными особенностями БРПЛ как объектов стабилизации являлась их высокая аэродинамическая неустойчивость, повышенные разбросы параметров и наличие неблагоприятного влияния упругих колебаний в рабочем диапазоне частот. Это потребовало разработки и внедрения специальных усовершенствованных методов стабилизации, в том числе:

- гибких методов настройки параметров АС в полете в функции параметров движения (ускорения, скорости) БРПЛ;

- автоматической самонастройки параметров АС в полете в функции внутренних параметров АС (амплитуды и частоты автоколебаний вблизи верхней границы устойчивости системы);

- настройки параметров АС в полете и формирование управляющих сигналов с использованием математической модели изделия, формируемой в бортовой аппаратуре СУ.

Разработка и внедрение новых эффективных методов стабилизации движения БРПЛ оказались возможными только благодаря внедрению в бортовую аппаратуру СУБР мощных, быстродействующих цифровых вычислительных средств.

Перечисленные выше меры позволили обеспечить устойчивый полет соответствующих ракет морского базирования во всех, определенных генеральным заказчиком, ситуациях и выполнение высоких требований по точности отработки в полете прогнозируемого промаха. Многолетнее серийное производство аппаратуры СУ, разработанной Научно-исследовательским институтом автоматики (НИИА), показало, что она является самой технологичной и малогабаритной среди других разработок СУ.

Второй основополагающей идеей, определяющим образом влияющей на закладываемые принципы конструктивно-технологического использования аппаратуры, было всестороннее и системное снижение массогабаритных характеристик приборов и СУ в целом. Выполнение этих требований привело разработчиков к использованию тонкопленочной технологии и унифицированных толстопленочных микросборок, рассчитанных на применение бескорпусных интегральных схем и других субминиатюрных компонентов элементной базы. Это направление, хотя и потребовало освоения микроэлектронного производства в гермозонах, дало возможность, несмотря на постоянное усложнение СУ, систематически снижать массогабаритные характеристики бортовой и корабельной аппаратуры.

На всех этапах создания СУ проверялась работоспособность бортовой и корабельной аппаратуры СУ в условиях, максимально приближенных к реальным по механическим, климатическим и другим видам воздействия, проводились испытания СУ во всех режимах ее работы на специально создаваемых комплексных и комплексно моделирующих стендах.

В результате в НПОА сложилась единая система экспериментальной отработки СУБР с всесторонней проверкой ее работы в наземных условиях. Высокая эффективность использования такой системы отработки, включающей последний этап комплексного моделирования со штатной аппаратурой СУ, подтверждена натурными испытаниями СУ БРПЛ и положительными результатами их эксплуатации.

Создание систем управления БРПЛ производилось головной организацией - НПОА, обеспечивающим разработку систем управления, изготовление и поставку опытных и серийных комплексов аппаратуры СУ для БР и подводных лодок под руководством Н.М.Комлева, И.Т.Скрипниченко, И.И.Величко, Ю.Т.Миронюка, В.В.Чеботарева, Н.А.Семихатова в тесном сотрудничестве с рядом научных и производственных предприятий и талантливых ученых организаторов от АНСССР, ВМФ и министерств ВПК: В.П.Арефьева, Ю.А.Буйнякова, А.М.Исаева, Н.Е.Иванова, С.Н.Ковалева, Л.М.Косого, В.С.Кузьмина, В.П.Макеева, И.Д.Спасского, а также принимавших активное участие представителей ВМФ - Н.И.Боравенкова, Ф.И.Новоселова, В.В.Синицына, В.А.Сычева, З.Б.Хаблиева.

Решение наиболее сложных научных и технических проблем, возникающих при проектировании, разработке и отработке современных СУБРПЛ, было бы невозможным без активного участия в этих разработках ученых страны, действительных членов и членов-корреспондентов Академии наук - В.С.Авдуевского, А.Ю.Ишлинского, Н.Н.Красовского, Ю.С.Осипова, А.Ф.Сидорова, Б.Е.Чертока, и многих других.

Работы в НПОА проводились под руководством и при производственном участии Л.Н.Бельского, В.И.Велика, В.И.Виноградова, С.Ф.Дерюгина, Н.С.Домрачева, Е.В.Замятина, Д.С.Евстигнеева, Г.Г.Конева, В.В.Козлова, В.М.Кутового, И.П.Малкина, В.П.Мурзина, В.П.Смирнова, В.В.Суворова, А.С.Филькина, Ю.И.Шилко, Г.М.Щепкиной.