

6
А45

Академия Наук СССР
Институт истории естествознания и техники

На правах рукописи

Э.Г. ЧЕЧУЛИН

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПОЛЕТОМ САМОЛЕТОВ КАК ПРИМЕР ФОРМИРОВАНИЯ
СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ
НА ТРАНСПОРТЕ

(Специальность 07.00.10: история науки и техники)

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1973 г.

Академия Наук СССР
Институт истории естествознания и техники

На правах рукописи

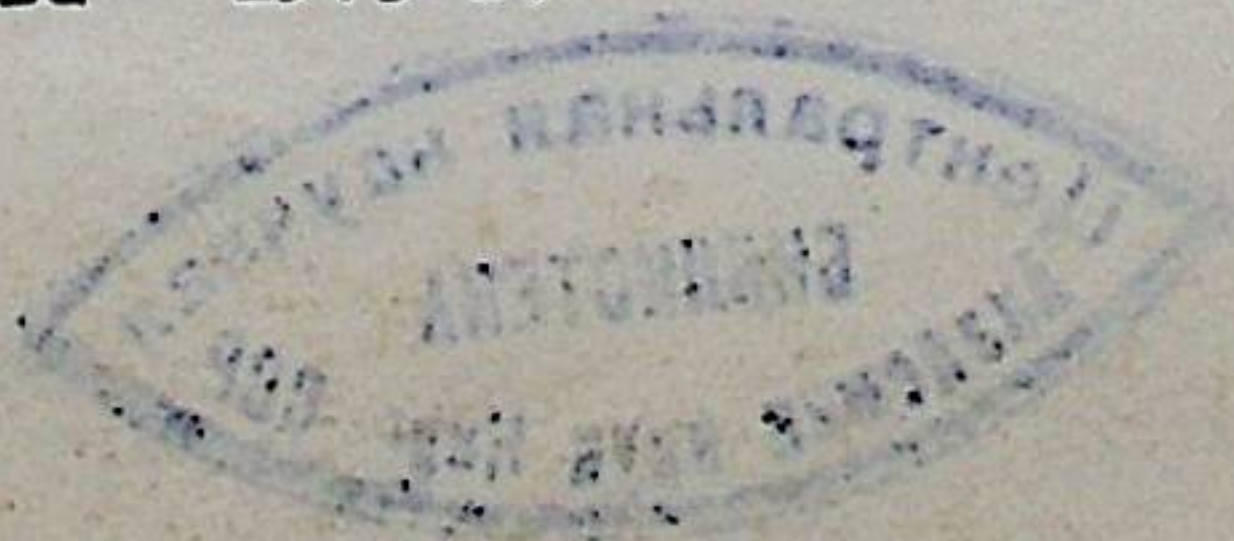
Эдуард Германович ЧЕЧУЛИН

**РАЗВИТИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПОЛЕТОМ САМОЛЕТОВ КАК ПРИМЕР ФОРМИРОВАНИЯ
СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ
НА ТРАНСПОРТЕ**

(Специальность 07.00.10: история науки и техники)

**Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва - 1973 г.



Достижения современной научно-технической революции в значительной степени обусловлены развитием систем автоматического управления (САУ). Особенно большую роль играют САУ в создании высокоэффективных транспортных средств, в том числе летательных аппаратов различного целевого назначения как наиболее сложных из них. Развитие САУ в значительной степени способствовало развитию и эффективному использованию авиации.

Стремление к увеличению эффективности САУ привело к появлению различных типов и конструктивных схем САУ, глубокому развитию теоретических исследований, большому расширению и усложнению авиаприборной промышленности. Это вызывает необходимость критического анализа и обобщения большого исторического опыта совершенствования САУ с целью выявления основных этапов и тенденций, имевших важное практическое значение для оценки современных направлений в развитии САУ.

Существенно необходимой становится также разработка научно обоснованного прогноза дальнейшего развития САУ. Научно-технический прогноз возможен только на основе учета использования прошлого опыта, поэтому историко-технический метод исследования, заключающийся в изучении прошлых примеров сходных технических усовершенствований, является необходимой составной частью долгосрочного планирования будущего развития САУ.

Кроме того, анализ развития САУ, представляющих собой один из наиболее совершенных элементов современной техники, может быть полезен с точки зрения установления закономерностей развития достаточно широкой совокупности техниче-

ских средств, в частности на транспорте, а также важен для понимания аналогичных процессов, происходящих в других видах современной техники.

Полный и всесторонний анализ развития САУ, являющихся сложными системами, как элемента современной техники, возможен лишь при системном подходе, одним из основных требований которого является соблюдение принципа одинаковой степени изученности элементов на всех уровнях иерархии.

В данном случае необходимо иметь в виду, что САУ входят как подсистемы в значительно более сложные системы, каковыми являются, например, транспортные средства (космический корабль, самолет, тепловоз или электровоз, судно и т.д.).

В свою очередь, транспортные средства в настоящее время путем централизации управления объединяются в так называемые большие системы, примерами которых являются системы управления космическим, воздушным, железнодорожным сообщениями и т.д.

Решению общих методологических вопросов при рассмотрении больших систем посвящено большое количество работ у нас в стране и за рубежом, в числе которых следует отметить работы таких ученых, как И.В.Блауберг, В.Н.Садовский, Э.Г.Юдин, Г.Х.Гуд, Р.Э.Макол, Д.Эллис, Ф.Людвиг, А.Д.Халл и др.

Развитию летательных аппаратов как сложных систем посвящена работа В.Ф.Болховитинова "Пути развития летательных аппаратов".

Следует особо отметить, что САУ по своему назначению не только органически связаны с конкретным транспортным средством, но и с высшей иерархической ступенью — централизованным управлением транспортными сообщениями. Вследствие этого в данной работе предпринята попытка применить общие методологические принципы системного исследования при анализе развития систем автоматического управления полетом самолетов.

В настоящее время, насколько нам известно, в научно-технической литературе отсутствуют работы, обобщающие мировой опыт совершенствования САУ. Вместе с тем, задача

создания такой работы является насущной в связи со все возрастающей ролью САУ в авиации.

По отдельным вопросам в различных странах и в разное время были опубликованы работы, посвященные описанию некоторых этапов развития САУ и отдельных систем. Такими работами являются, например, труды проф. Н.Е.Жуковского и Фр.Ш.Госа, посвященные анализу и описанию САУ в эпоху зарождения авиации. В СССР следует отметить работы Е.В.Ольмана, В.Н.Токарева, В.А.Боднера, Д.А.Браславского, А.А.Красовского и др. Однако эти работы в основном посвящены описанию конструкций и принципов действия отдельных автоматических приспособлений и автопилотов, которые можно считать прообразом современных САУ. Развитию теории автоматического регулирования в СССР посвящена работа академика Б.Н.Петрова и др.

Исследования по выбору общих критериев эффективности САУ и методики расчета проводились на кафедре "Системы автоматического управления" МАИ им. С.Орджоникидзе под руководством академика Б.Н.Петрова.

В диссертации предпринята попытка использовать критерий эффективности для сравнения различных САУ при анализе их развития.

Значительное число работ за рубежом носит односторонний и зачастую тенденциозный характер, игнорируется общественно-политический фактор развития техники. Нередко эти работы носят чисто рекламный характер.

Обобщающих научных работ по истории САУ до последнего времени в СССР опубликовано не было.

В работе использованы методические приемы, разработанные советскими историками техники, в частности, С.В.Шухардиным и И.Я.Конфедератовым, а также общие принципы системного подхода к рассмотрению сложных систем, предложенные И.В.Блаубергом, В.Н.Садовским и Э.Г.Юдиным.

Принимая во внимание указанные историко-технические работы, в диссертации сделана попытка дополнить и углубить анализ проблемы смены старой техники новой, исследуя конкретный материал по развитию САУ.

Целью работы является установить логику и особенности развития САУ самолетов как пример формирования средств автоматизации управления на транспорте путем анализа технических, экономических и общественно-политических факторов.

Предметом исследования является совокупность фактов развития, в основном, САУ гражданских самолетов. Развитие САУ рассматривается от первых конкретных предложений автоматизации управления самолетом, что имело место в конце прошлого и начале нашего века, до настоящего времени.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и библиографического указателя.

Во введении обосновывается актуальность темы и раскрываются цели, научно-методическое содержание, а также задачи и принципы, положенные в основу исследования.

В первой главе дан метод анализа развития САУ и представлены основные факторы, влияющие на это развитие.

Для изучения истории развития любой области техники необходима методика, позволяющая проследить и проанализировать ее развитие. Принимая во внимание, что основной движущей силой прогресса в развитии САУ является развивающаяся быстрыми темпами авиация, главным направлением развития САУ следует считать удовлетворение требований авиации на каждом этапе развития. В данном смысле большое значение имеет задача определения места САУ в системе оборудования самолета. Такая постановка задачи является следствием системного подхода к исследованию сложных систем, одним из основных требований которого является соблюдение принципа одинаковой степени изученности элементов на всех уровнях иерархии.

Система автоматического управления полетом самолета в свою очередь является сложной системой, включающей датчики, вычислительные устройства, систему контроля, исполнительные элементы и т.д. Вследствие этого применим принцип декомпозиции задачи при рассмотрении сложных систем, т.е. разделение общей задачи на подчиненные задачи. Для этого должны быть использованы различные критерии оценки САУ, непосредственно вытекающие из требований, предъявляемых к ним. Следовательно, при анализе каждой САУ необхо-

димо выяснить, какими характеристиками обладает данная система с точки зрения структуры, качества регулирования, надежности, веса и т.д.

За основу при рассмотрении развития САУ принято положение диалектики о том, что все зависит от места, времени и обстоятельств, конкретизирующееся в области истории науки и техники как положение о трех "климатах", в которых совершается научное и техническое движение.

Одновременно необходимо рассмотреть, что оказало влияние на создание данной САУ, т.е. требования ли авиации, достижения других областей науки и техники или исторические события. Если при этом рассматривать развитие САУ в историческом плане, то это должно привести к определению "узловых точек" развития, т.е. нахождению образцов, которые несут качественные изменения и знаменуют собой новый шаг по пути дальнейшего прогресса САУ.

Для подтверждения этой концепции должны быть проведены историко-научные, графо-аналитические, статистические и другие исследования, результатом которых должно быть выявление закономерностей в развитии САУ. На основании этих закономерностей следует определить тенденцию дальнейшего развития САУ и прогнозировать методы решения отдельных проблем и способы их реализации.

Системы автоматического управления на отдельных участках полета могут полностью заменять летчика в управлении самолетом, а на других участках полета летчик работает совместно с автоматикой, и это накладывает существенный отпечаток на облик САУ. В связи с этим необходимо проследить эволюцию взаимоотношений летчика и САУ на конкретных примерах. Данная проблема является частным случаем более общей проблемы "человек - машина".

В работе показано, что к числу основных факторов развития САУ относятся развитие авиации, развитие науки и техники в целом, а также уровень технико-экономического потенциала различных стран и общественно-политический фактор.

Анализ развития авиации показывает, что основным направлением этого развития является обеспечение эффективности выполнения боевого задания для военной авиации и обеспечение экономичности для гражданской авиации. Как правило, развитие военной авиации примерно на десятилетие опережает развитие транспортной и пассажирской авиации, которая использует опыт, накопленный при разработке и эксплуатации боевых самолетов. Основными характеристиками гражданских самолетов, вытекающими из условия экономичности и определяющими требования к САУ, следует считать скорость, высоту, дальность полета и регулярность движения.

В работе показано, что непрерывное увеличение скорости полета, характерное для последних 50 лет, заменяется выбором отдельных диапазонов, в которых увеличение скорости происходит значительно медленнее, чем в прошлом, и будет ограничиваться для дозвуковых самолетов волновым сопротивлением при местном значении числа $M > 1$, а для сверхзвуковых самолетов — свойствами материалов при высоких температурах.

Далее в работе показано, что развитие САУ неразрывно связано с развитием науки и техники в целом.

Созданию устройств для обеспечения устойчивости самолетов способствовало появление к 1912 г. теоретических работ по статической и динамической устойчивости аэроплана, среди которых следует отметить работы Фернана, Г.Ботезата, Н.Е.Жуковского. В 30-40-е годы появляется большое количество работ по теории авиационных приборов и автоматическому управлению. Особенно следует отметить огромный вклад в этой области и приоритет советских ученых, в том числе А.Н.Крылова, А.А.Солодовникова, С.С.Тихменова, Д.А.Браславского и других. К этому времени большое внимание стало уделяться подготовке специалистов по авиационному оборудованию в вузах.

Большую роль в создании САУ на ранних этапах развития сыграло использование большого опыта в других областях техники, например, в области электротехники, а на более поздних этапах — достижения в полупроводниковой технике и в области микроминиатюризации схемных элементов. Дальней-

шему бурному развитию САУ в 50-х — 60-х годах способствовало появление фундаментальных теоретических работ по теории автоматического регулирования, теории вероятности, кибернетике, теории самонастраивающихся систем и систем с переменной структурой. В это же время начали проводиться работы по использованию достижений бионики при создании САУ. Большие достижения в области вычислительной техники позволили использовать в САУ аналоговые и цифровые вычислительные машины.

Путем анализа технико-экономического потенциала различных стран, в частности Франции, Англии, Германии, США и СССР, показана специфика создания САУ в этих странах и дана оценка уровня развития авиаприборной промышленности каждой страны.

Роль общественно-политического фактора в развитии САУ показана в свете существования в мире двух общественных формаций, а также в условиях войн, которые явились кульминацией обострения международных отношений.

Во второй главе дана периодизация развития САУ. В основу предложенной периодизации положена совокупность признаков, характеризующих как свойства элементов и систем в целом, так и обеспечиваемые ими качественно и количественно отличимые уровни развития на каждом этапе с учетом степени реализации САУ.

На основе сведений, содержащихся в первоисточниках, исследована фактическая сторона зарождения, становления и последующего развития САУ.

В развитии САУ со времени их зарождения до настоящего времени можно выделить следующие основные периоды:

Период зарождения САУ (1900—1920 гг.) характеризуется поисками способов улучшения характеристик устойчивости самолетов с помощью автоматических приспособлений.

Первая схема автоматического устройства, предложенного для стабилизации в продольной плоскости движения летательного аппарата — цельнометаллического дирижабля, была предложена К.Э.Циолковским в 1898 г. Все приспособления этого периода для придания аэропланам автоматической устойчивости можно разделить на три группы: маятниковые,

флюгерные и гироскопические.

Период становления САУ (1920-1945 гг.), в связи с большими достижениями в области аэродинамики и конструкции самолетов и увеличением длительности полетов, отмечен разработкой автопилотов, призванных облегчить работу экипажа, освободив его на отдельных участках маршрута от однообразной и утомительной ("рутинной") работы.

В начале этого периода практически завершился процесс вытеснения маятниковых и флюгерных устройств гироскопическими. В дальнейшем гироскопические устройства совершенствовались в направлении источников питания, принципа действия и конструкции агрегатов.

Наибольших успехов в создании трехканальных автопилотов добилась американская фирма Сперри. Германские фирмы Сименс и Аскания пошли по пути создания одноканальных автопилотов - стабилизаторов курса. В создании отечественных автопилотов активное и непосредственное участие принимали инженеры И.А. Тимофеев, А.А. Лусис, М.Ф. Селицкий, В.Э. Соркин, Л.И. Семенов, Е.В. Ольман и другие.

В 30-е годы, в основном, создавались пневматические автопилоты, что зачастую было вызвано отсутствием других источников питания на самолете. Позже были созданы пневмогидравлические автопилоты.

В этот период, в основном, сформировалась принципиальная схема построения автопилота.

Период завершился созданием электрического автопилота фирмы Миннеаполис-Хониуэлл С-1 и электрогидравлического автопилота фирмы Сперри А-5.

Переходный период в развитии САУ (1945-1960 гг.) совпадает с зарождением и становлением реактивной авиации, что приводит к значительному увеличению высот и скоростей полета самолетов. В связи с этим возникают более высокие требования к характеристикам САУ.

В связи с невозможностью спроектировать автопилот с постоянными передаточными числами, обеспечивающий оптимальное качество управления на всех режимах полета скоростных самолетов, в некоторых автопилотах (фирма Бендикс РВ-20, РВ-60) применяется автоматическая регулировка па-

раметров системы в зависимости от условий полета.

Расширение функций автопилотов привело к тому, что появилась тенденция к объединению автопилотов с другими оборудованием в единую систему автоматического управления (САУ). Резко возрастают требования к надежности САУ, что приводит к необходимости дублирования отдельных элементов и системы в целом.

С целью снижения веса и повышения надежности САУ происходит замена электронных ламп на транзисторы.

Период развития САУ после 1960 г. характеризуется коренным совершенствованием САУ. Увеличивается количество функций, выполняемых САУ, в числе которых наиболее важными являются обеспечение автоматической посадки самолетов и программного управления на базе бортовой вычислительной машины. Начинают разрабатываться и испытываться самонастраивающиеся системы управления. В связи с очень высокими требованиями к надежности САУ и безопасности полетов, САУ проектируются многократно резервируемыми (до трех-четырех крат). С созданием новых самолетов с большой дозвуковой скоростью полета и сверхзвуковых пассажирских самолетов вновь возникает проблема обеспечения требуемых характеристик устойчивости и, кроме того, управляемости самолетов. При разработке САУ широко используются микроминиатюризованные элементы. В это же время большое внимание уделяется созданию САУ для легких самолетов.

В заключении главы дан анализ основных периодов развития САУ. Показана специфика создания САУ в различных странах, обобщены характеристики САУ по периодам и выделены образцы, характеризующие в общем каждый период, а также несущие качественные изменения, что позволяет определить их как "узловые точки" развития САУ.

Таковыми образцами являются:

I-й период - маятниковые устройства Эллекхаммера, Виньетти и Ольховского, флюгерные устройства Этеве, Бенуа и А.Дутра, гироскопические стабилизаторы Л.Мармонье и Э.Сперри;

2-й период - пневматический автопилот АВП-3 и пневмогидравлические автопилоты Сперри А-2 и отечественный АП-42, стабилизаторы курса Сименс К4-К7 и Асканья LStZ-14 электрогидравлический автопилот Сперри А-5 и электрический автопилот Миннеаполис-Хониуэлл С-1;

3-й период - электрические автопилоты АП-15, АП-6Е, SP-30 и AP-101, автопилот с регулировкой параметров РВ-20;

4-й период - зарубежные автопилоты РВ-20Д, РВ-60, SP-50, SEP-6, САУ для самолета "Конкорд" и отечественные БСУ-3П, САУ-1Т, АБСУ-154, АБСУ-144.

В третьей главе более подробно рассмотрены принципы решения основных проблем в области САУ в процессе их развития.

Одной из основных проблем на протяжении всего развития САУ являлось обеспечение требуемого качества управления полетом самолета. В первую очередь это выразилось в последовательном совершенствовании закона управления САУ. Простейший закон управления с позиционной связью автопилотов Сперри модели А-2 и А-3 в дальнейшем был улучшен введением сигналов, пропорциональных скорости и ускорению изменения входного параметра. В современных САУ для снижения статической ошибки в закон управления вводится интегральный член.

Далее дана классификация САУ по принципу действия, по которой САУ, созданные до 50-х годов, можно отнести к не приспособляющимся или априорным системам управления. К концу 50-х годов были разработаны системы (например, автопилоты фирмы Бендикс РВ-20 и РВ-60) с регулировкой параметров. Это были первые системы управления, которые можно отнести к приспособляющимся (адаптивным) системам, т.е. к наиболее простому подклассу адаптивных систем - самонастраивающимся системам с разомкнутыми цепями самонастройки. В конце параграфа в таблицу сведены основные самонастраивающиеся системы, разрабатываемые в начале 60-х годов, и указаны принципы самонастройки, реализуемые в них.

В следующем разделе главы рассматривается возникновение и необходимость реализации с помощью САУ автоматической посадки и эволюция методов обеспечения автоматической посадки в различных метеоусловиях, ограничиваемых соответствующими требованиями ИКАО. Рассмотрены конкретные системы посадки "Аутоланд" и BLEU, используемые для автоматической посадки самолетов "Тридент", "Белфаст", "Канберра", "Комет" и др.

Разработанные и эксплуатирующиеся на самолетах отечественные системы автоматического управления БСУ-3П, САУ-1Т, АБСУ-154 и АБСУ-144, обеспечивающие выполнение автоматической посадки по различным категориям ИКАО, аналогичны по принципу построения зарубежным системам.

В заключении данного раздела дан анализ двух точек зрения на автоматическую посадку, сформировавшихся в последнее десятилетие: построение полностью автоматической системы с обеспечением очень высокой надежности (английская точка зрения) и компромиссное решение проблемы с активным привлечением экипажа к процессу управления на посадке (американская точка зрения).

Приведены статистические данные ИКАО по летным происшествиям для гражданских самолетов за 12 лет (1951-1962 гг.), из которых видно, что примерно 50% всех аварий и 45% общего количества жертв приходится на взлет и посадку.

Третий раздел главы посвящен анализу методов решения проблемы надежности САУ и обеспечения безопасности полетов самолетов в процессе развития САУ.

Показано, что основными методами повышения надежности систем управления являются:

- 1) увеличение надежности элементов и блоков, входящих в состав системы;
- 2) использование резервирования.

Хотя всегда следует практиковать первый метод, современный роот техники таков, что резервирование оказывается единственным способом, с помощью которого может быть достигнуто заметное увеличение надежности. Причем, изучение

биологических систем управления, в частности нейросистем, показывает, что за счет увеличения избыточности общая надежность системы может быть достигнута при низкой надежности отдельных элементов. За три десятилетия требования к надежности САУ очень резко возросли: среднее время безотказной работы 200 час. в конце 30-х годов и 22200 час. в конце 60-х годов.

В работе рассмотрены в историческом плане различные схемы резервирования САУ, а также способы обеспечения безопасности полета с помощью САУ и показано увеличение относительной сложности САУ в зависимости от вида резервирования.

Резкое обострение проблемы веса и объема аппаратуры в результате многократного резервирования и значительного роста общего количества элементов вызвало появление принципиально нового курса в конструировании и производстве электронного оборудования, который заключается в миниатюризации схемных элементов аппаратуры на основе разработки новых материалов и технологических процессов.

В заключение приведены обобщенные данные по отказам и неисправностям блоков автомата триммирования АТ-2 и автопилота АП-БЕМ-3П за 1970 г. на самолетах ИЛ-18, Ту-124 и Ту-134.

В четвертом разделе данной главы показано изменение весовых и габаритных характеристик САУ в процессе их развития.

Уменьшение веса автопилотов в период 1920-1937 гг. было связано с определенным прогрессом в области науки и техники, что позволило значительно улучшить конструкцию отдельных элементов и автопилотов в целом. Так, за этот отрезок вес автопилотов фирмы Сперри уменьшился с 90 кг до 40-45 кг, т.е. примерно в 2 раза. Особенно большой прогресс произошел в отечественном автопилотостроении. Если автопилот АВП-1 имел вес 200 кг, то автопилот АВП-12Д весил около 40 кг, т.е. за 5 лет вес уменьшился в 5 раз.

В начале 50-х годов увеличение веса САУ было вызвано увеличением функций и, главным образом, значительным повышением требований к надежности САУ, что привело к необхо-

димости дублирования отдельных элементов и автопилотов в целом.

В дальнейшем использование микросхем обеспечило значительное уменьшение веса и объема аппаратуры, что показано на графике уменьшения объема, занимаемого электронной аппаратурой с 1958 г. по 1970 г.

Однако, применение многократного резервирования в конце 60-х годов привело к увеличению веса САУ до 200 кг и более.

Последний раздел главы посвящен решению проблемы взаимоотношений человека с машиной на примере взаимодействия летчика и САУ.

Роль летчика в управлении полетом самолета развивалась в течение предшествующих шести десятилетий довольно логично.

На заре развития авиации летчик рассматривался, в основном, как чисто биологический объект, совершающий управление самолетом с помощью мускульной энергии. В начале XX столетия на самолетах Сантос-Димона, Кертиса, а также в автомате Ольховского пилот использовался в контуре управления самолетом в качестве чувствительного устройства и исполнительного механизма.

В 30-е - 40-е годы были найдены пути индикации летчику большого количества информации; для увеличения его ограничений физической силы были созданы силовые бустера, приводящие в движение управляющие поверхности; а для освобождения летчика от однообразной работы были изобретены автопилоты, которые могли заменить летчика частично или полностью на отдельных участках маршрута.

Однако, к середине XX века положение летчика как оператора коренным образом изменилось. Широкое внедрение автоматизированных систем, счетных устройств и средств дистанционного и централизованного управления, создание высокоскоростных реактивных самолетов, необходимость принятия решения в предельно сжатые сроки - все это не могло не отразиться на характере работы оператора. У оператора нашего времени (в качестве которого может рассматриваться и летчик, и руководитель полетов, и космонавт) центр тяжести

совершаемых операций переместился в сферу мыслительных действий. Более того, конструкторам теперь приходится искусственно создавать исчезнувшие механические нагрузки на штурвале.

К концу 50-х годов летчик уже часто не успевал следить за показаниями десятков приборов и индикаторов, манипулировать сотней переключателей. Это привело к тому, что попытались исключить летчика из контура управления, заменив его автоматической системой на базе вычислительной машины. Однако, оказалось, что машины могут далеко не все. Выяснилось, например, что человек хорошо учитывает вероятность событий и может предсказать их развитие, что объем памяти у него значительно больше, чем у вычислительных машин и многое другое. Вывод о несостоятельности человека оказался явно преждевременным, и лозунг "Исключить человека из системы управления" был заменен лозунгом "Симбиоз человека и машины".

В работе дан анализ эффективности комбинации "человек-самолет" и показано наиболее целесообразное распределение функций между летчиком и автоматикой при управлении самолетом.

В заключение произведено сравнение отношений между летчиком и системой управления для дозвукового самолета до 60-х годов и для более автоматизированного современного самолета или самолета ближайшего будущего. В обоих случаях человек представляет собой наивысшую власть, и описанная концепция САУ является скорее эволюционной, нежели революционной.

В четвертой главе рассмотрены основные закономерности развития САУ.

Для выявления основных закономерностей развития САУ в работе используется комплексный метод анализа развития, который состоит из качественного и статистического анализов.

При проведении качественного анализа развития САУ необходимо на основе изучения отдельных образцов и факторов, влияющих на переход от одних видов САУ к другим, выявить логические связи в этом развитии.

Развитие автоматизации управления полетом и связанная с этим эволюция взаимоотношений летчика и САУ происходили в соответствии с развитием авиации, а также развитием науки и техники в целом.

Задачи, решаемые с помощью САУ в процессе всего их развития, можно охарактеризовать следующим образом:

- улучшение характеристик самолетов на первом этапе;
- замена летчика на отдельных участках полета с целью облегчения пилотирования на втором этапе;
- улучшение характеристик самолета, замена летчика с целью повышения качества управления и обеспечения требуемого уровня надежности и безопасности, а также регулярности воздушных сообщений на двух последних этапах развития.

Каждый из этих этапов характеризуется определенным качеством САУ и требованиями, предъявляемыми к ним. Выявление образцов САУ, характеризующих переход к новому качеству, позволило провести периодизацию развития САУ, представленную во второй главе данной работы.

При этом определился двойственный характер развития САУ - эволюционный и революционный. Развитие САУ в рамках определенного периода носило, в основном, эволюционный характер, т.е. развитие происходило по спирали: на базе новых достижений науки и техники на более высоком уровне решались вопросы совершенствования САУ с точки зрения принципов управления, конструкции, точностных характеристик, надежности, веса и т.д.

Концепция эволюционного развития взаимоотношений летчика и САУ восторжествовала в период времени, когда была сделана попытка искусственно произвести в данной области революцию, т.е. исключить человека из контура управления самолетом.

Революционный характер развития наблюдается при переходе от одного периода развития САУ к другому, когда создавались новые САУ или принципиально по-новому решались главные проблемы в области САУ.

Для оценки качества САУ и сравнения их между собой необходимо иметь критерий качества. Таким критерием может быть принята эффективность САУ.

Эффективность является функцией частных характеристик САУ - количества выполняемых функций n , точности P_T , надежности R , веса G , стоимости проектирования и изготовления системы C_1 , стоимости эксплуатации системы C_2 .

Общее уравнение эффективности имеет вид

$$E = F(n, P_T, R, G, C_1, C_2). \quad [1]$$

При назначении требований к системе в соответствии с уравнением (1) надо обеспечить максимальное значение функции эффективности E .

Как известно, обобщенный критерий эффективности E выражается через частные с помощью конечного числа некоторых элементарных операций, т.е. суммирование различных характеристик качества системы M_i с весовым коэффициентом a_i .

$$E = \sum_{i=1}^n a_i M_i \quad [2]$$

В качестве примера применения формулы (2) рассмотрена зависимость стоимости проектирования и изготовления системы C_1 и стоимости эксплуатации C_2 от ее безотказности.

В процессе разработки САУ имеется необходимость не только предъявлять требования к количественным значениям частных характеристик системы, но также и оценивать общие качественные характеристики различных систем или различных вариантов одной и той же системы. Решать эту задачу удобно при помощи функции эффективности различных систем и при использовании относительных оценок.

Относительное значение оценки частной характеристики представляет отношение действительной величины критерия данной системы к его желаемой величине.

$$E = a_1 \frac{n}{n_{max}} + a_2 \frac{P}{P_{max}} + a_3 \frac{P_B}{P_{Bmax}} + a_4 \frac{P_r}{P_{rmax}} + a_5 \frac{C_{min}}{C} + a_6 \frac{C_{min}}{C} \quad [3]$$

В выражении (3) надежность системы определяется через свои составляющие:

$$R = f(P, P_B, P_r),$$

где P - безотказность;
 P_B - восстанавливаемость;
 P_r - готовность.

Каждая из сравниваемых систем может характеризоваться отношением ее эффективности к максимальной эффективности

$$E_j' = \frac{E_j}{E_{max}}$$

Систему, имеющую наибольшее значение E_j' можно признать наилучшей.

Второй раздел главы посвящен статистическому анализу развития САУ. При проведении статистического анализа за основу был принят патентно-статистический анализ.

Исследование по определению уровня техники и разработка любого научно-обоснованного прогноза невозможны без анализа обширного массива технической и экономической информации. Наиболее ценным источником информации такого рода в силу своей специфики являются описания изобретений к патентам и авторским свидетельствам.

В работе представлен график распределения выдачи патентов на САУ в зависимости от времени с начала XX столетия до наших дней.

Анализ патентной информации в техническом и историческом аспектах показывает, что наблюдается цикличность выдачи патентов на САУ с довольно ярко выраженными экстремумами. Снижение количества выданных патентов связано с тем, что периодически происходит как бы насыщение новыми идеями при решении тех или иных проблем, и требуется провести их техническую реализацию. Последнее в свою очередь порождает возникновение еще большего количества новых идей. Это можно назвать "размножением" идей на более высоком уровне, что приводит к значительному увеличению количества патентов. Следует отметить, что спады в количестве выданных патентов на САУ совпадают с периодами войн. Учитывая все эти

факторы и анализируя график выдачи патентов на САУ, можно сделать вывод, что период времени от возникновения новой технической идеи до воплощения ее в отработанную конструкцию (применительно к САУ) составляет 7-10 лет в мирное время и 15-20 лет, если на этот период времени приходится годы "большой" войны.

Для разработки прогноза в работе предложено определять интенсивность выдачи патентов на отдельные типы САУ и новые методы управления.

Выражение для определения интенсивности можно записать в виде

$$\varphi(t_i) = \frac{n}{N \Delta t_i},$$

где n - количество патентов на тип САУ, выданное в i -ом интервале времени;

N - общее количество патентов на САУ, выданное в том же интервале времени;

Δt_i - интервал времени.

В работе с целью сравнения и прогнозирования были определены интенсивности выдачи патентов на самолетами-самонастраиваемые САУ для двух интервалов времени.

В пятой главе даны тенденции развития систем автоматического управления полетом самолетов.

В связи с тем, что развитие САУ неразрывно связано с развитием авиации, первый раздел главы посвящен анализу перспектив развития гражданской авиации.

Во втором разделе главы показана возможность использования развивающейся системы автоматического управления при проектировании новых самолетов.

Результаты аналитических исследований, проведенных в последнее время, свидетельствуют о возможностях значительных улучшений характеристик самолета благодаря использованию дополнительной связи проекта с системой управления. Полное использование этих возможностей может быть достигнуто только тогда, когда конфигурация самолета с начала проектирования определяется на этой основе, поскольку модификации могут привести лишь к частичному успеху.

В связи с этим предлагается новая методика проектирования самолета, основанная на использовании потенциальных возможностей САУ путем всесторонней оценки компромиссов, учитывающих концепции усовершенствованной системы управления. Результатом оптимизации может быть совершенно необычная конфигурация самолета.

Для применения в предложенной методике могут быть указаны следующие концепции техники управления:

- снижение требований "естественной" устойчивости;
- контроль уровня комфорта;
- контроль запаса по флаттеру;
- управление подъемной силой.

Значительное улучшение летных характеристик самолета достигается, если площадь горизонтального оперения уменьшена и продольная устойчивость компенсирована искусственным повышением устойчивости. То же самое относится к путевой устойчивости.

Если бы оказалось возможным уменьшить площадь оперения до 50% обычных величин, потенциальный выигрыш в весе конструкции самолета превысил бы 3%. Поскольку для современных самолетов, обладающих большой дальностью полета, величина отношения взлетного веса к весу пустого самолета приближается к трем, уменьшение взлетного веса в данном случае может быть на 10%. Полное лобовое сопротивление самолета также уменьшится, возможно на 3%.

Третий раздел главы посвящен возрастающей роли САУ в связи с требованиями обеспечения регулярности и экономичности воздушных сообщений.

Уже в ближайшем будущем практически весь парк самолетов, находящихся в эксплуатации, а также самолеты, поступающие в эксплуатацию на авиалинии, должны как минимум быть оборудованы для выполнения автоматической посадки по 2 категории ТСАО. Следующим этапом развития САУ будет обеспечение автоматической посадки по 3 категории ТСАО. В это же время следует ожидать внедрения на самолетах систем автоматического взлета.

Очень большое значение при создании в ближайшем будущем самолетов с вертикальным взлетом и посадкой (СВВП), а

также самолетов с коротким взлетом и посадкой, имеет разработка специальных САУ. В работе приведены основные требования к САУ для СВВП и их состав.

С целью улучшения регулярности движения и использования аэропортов необходимо увеличить роль вычислителей в системе управления воздушным движением, чтобы наилучшим образом использовать усовершенствованные средства управления и точной навигации САУ. С этой целью наметилась тенденция к объединению электронного и приборного оборудования на базе бортовой цифровой вычислительной машины (ЦВМ).

Решению проблемы экономичности перевозок может способствовать выполнение с помощью САУ режимов программного управления с использованием бортовой ЦВМ, которые могут обеспечить оптимальное управление по тем или иным параметрам (например, минимум расхода топлива, время прибытия и др.).

Четвертый раздел главы посвящен необходимым улучшениям характеристик САУ. Решение многих задач, поставленных перед САУ, а также область их применения зависит в первую очередь от характеристик, которые будут иметь САУ в ближайшем будущем.

Одной из важнейших характеристик САУ в этом смысле является их надежность. Предполагается, что в перспективе можно ожидать дальнейший прогресс в области надежности отдельных элементов САУ. Однако, как показывает опыт нескольких прошедших десятилетий, этот прогресс происходит относительно медленно. Поэтому основным способом обеспечения очень высоких требований надежности и безопасности полетов будут оставаться различные виды резервирования.

В связи с тем, что в ближайшее время не представляется возможным резкое уменьшение веса и объема аппаратуры САУ, еще большее значение приобретает различный подход к проектированию САУ для тяжелых и легких самолетов.

В настоящее время, кроме требований к безотказности САУ, большое внимание начинает уделяться другой составляющей надежности — восстанавливаемости, что характеризует в основном эксплуатационные качества аппаратуры.

Значительное улучшение качества регулирования может быть получено при широком внедрении на самолетах приспособляющихся САУ, в частности, самонастраивающихся систем управления (СНС). Можно считать, что в настоящее время заканчивается период научно-исследовательских работ и испытаний СНС и следует ожидать появления образцов СНС, способных эксплуатироваться на гражданских самолетах.

Дальнейшее развитие САУ для летательных аппаратов, по-видимому, будет идти по пути создания самоорганизующихся систем управления, в которых будут использованы принципы работы, присущие живым организмам и которые будут сочетать в себе способность к самонастройке с высокой надежностью работы, обеспечиваемой избыточностью элементов системы и способностью к самопроверке.

В шестой главе показаны общие черты и различие в развитии средств автоматизации управления на транспорте.

Все транспортные средства объединяются общностью цели, заключающейся в перемещении пассажиров и грузов различного назначения в пространстве. Появление САУ и применение их на транспортных средствах весьма существенно способствовало прогрессу в данной области техники. История и масштабы автоматизации управления на различных транспортных средствах зависели от следующих основных факторов: 1) различие во времени появления того или иного транспортного средства; 2) необходимость применения САУ на данном транспортном средстве; 3) возможность автоматизации.

В работе на конкретных примерах рассмотрены приемственность и взаимное влияние в развитии САУ на различных транспортных средствах, а также особенности развития.

Так, например, внедрению гироскопических устройств на самолетах в значительной степени способствовал опыт разработки морских гирокомпасов фирмы Сперри, но при этом выявилась необходимость значительного уменьшения их весов и габаритов. В свою очередь совершенство авиационных приборов сыграло существенную роль в дальнейшем при создании речных и морских судов на подводных крыльях и воздушных подушках.

Значительное увеличение мощностей управления потре-

бовало применения в транспортных средствах (в первую очередь на самолетах) гидравлических усилителей. В качестве примера использование гидроусилителей на других видах транспорта показано их применение на автомобилях большой грузоподъемности.

Далее показано взаимное влияние развития САУ в авиационной и ракетной технике, где особый интерес представляет разработка и внедрение самонастраивающихся систем управления. В качестве примера приводятся самонастраивающиеся автопилоты фирмы Миннеаполис-Хониуэлл МН-96 для гиперзвукового самолета Х-15 и Н-14 для вертолетов и легких самолетов.

В работе показано, что наибольшее значение для транспортных средств имеют такие характеристики САУ, как надежность, точность регулирования, вес и габариты. Наиболее критичными эти характеристики являются в авиации, что связано с большими скоростями передвижения и необходимостью выполнения автоматического взлета и посадки, а также более высокой "стоимостью" единицы веса и объема аппаратуры на самолете.

Прогресс в области САУ и внедрение их на различных транспортных средствах в значительной степени способствовали построению систем централизованного управления движением.

В заключении главы показана особенность взаимоотношений оператора и САУ в управлении транспортными средствами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное историко-техническое исследование позволило на основании собранных и систематизированных фактов проанализировать и дать оценку техническому опыту развития систем автоматического управления полетом самолетов (САУ), накопленному в различных странах с момента зарождения идеи до настоящего времени.

В результате анализа выявлены реальные движущие силы и основные этапы развития САУ, а также показаны конкретные условия их создания и пути совершенствования.

В работе проанализирован процесс смены старой техники в авиации на новую и сделана попытка распространить полученные выводы на более широкую совокупность явлений из истории транспортной техники.

Внутренняя логика развития САУ исследована с учетом общественно-политического фактора, а также с учетом уровня научно-технического и технико-экономического потенциала различных стран.

Ниже сформулированы основные выводы, полученные в результате проведенного исследования.

ВЫВОДЫ

1. Исследование развития САУ позволило выделить основные этапы этого процесса. Показано, что при разработке периодизации развития САУ следует учитывать не только различие рассматриваемого типа автоматических устройств в принципе действия и в качественных характеристиках, но, что весьма существенно, и степень их реализации.

2. В результате проведенного исследования удалось уточнить ряд исторических положений, до последнего времени недостаточно полно и верно характеризовавших развитие САУ. Например, исследование патентных и архивных материалов позволило установить, что конкретные схемы автоматического управления самолетом, обеспечивающие автоматическую посадку и облет препятствий, впервые были предложены в конце 30-х годов. Однако, в то время эти системы находились на уровне эксперимента; их техническая реализация стала возможной, примерно, лишь через четверть века.

3. В результате конкретного историко-технического и инженерного анализа развития САУ показано, что уровень развития САУ в различных странах, а также некоторые особенности конструкции и схемных решений явились следствием двух причин: преимущественным развитием различных отраслей техники в отдельных странах и уровнем научно-технического и технико-экономического потенциала различных стран.

4. Проведенный анализ позволил установить, что время от начала 30-х годов до конца 50-х годов явилось периодом

принципиального решения практически всех основных схемных и конструктивных вопросов в области САУ, а время с начала 60-х годов до настоящего времени — периодом оптимизации конструкции и характеристик САУ с целью получения наибольшей эффективности.

5. Замена человека автоматическими устройствами в управлении полетом самолета происходила последовательно с учетом уровня развития САУ и возможностей летчика и с целью получения наибольшей эффективности управления. Развитие взаимоотношений летчика и САУ носит в основном эволюционный характер. В последнее время сформировалась концепция симбиоза человека и автоматики на основе главенства летчика в части контроля работы САУ и принятия решений. Данная концепция находит подтверждение и на других видах транспорта.

6. На основании изучения основных характеристик САУ, определяющих качественные показатели систем управления в целом, предложен критерий оценки качества САУ, названный ее эффективностью, который позволяет провести сравнение как отдельных САУ, так и различных вариантов той или иной конкретной системы управления.

7. В существующих отечественных и зарубежных историко-авиационных исследованиях в недостаточной степени показан вклад СССР, его ученых и конструкторов в развитие САУ. В диссертации, на большом фактическом материале с учетом мирового опыта, прослежено развитие САУ в СССР и показано существенное значение для мировой практики создания систем автоматического управления и отдельных их элементов проведенных в нашей стране теоретических и конструктивных разработок.

8. Выявленные закономерности развития САУ и проведенный качественный и статистический анализ позволили определить следующие основные тенденции дальнейшего развития САУ самолетов:

- а) повышение роли САУ в создании оптимального облика перспективных самолетов;

- б) обеспечение регулярности и экономичности воздушных сообщений, для чего САУ должны органически войти в систему управления воздушным движением, а также обеспечивать оптимальное управление по экономическим показателям;

- в) улучшение характеристик САУ, в первую очередь надежности (в том числе эксплуатационной) и качества регулирования (внедрение в эксплуатацию самонастраивающихся систем).

9. В работе показано, что прогресс в области САУ и внедрение их на различных транспортных средствах в значительной степени способствовали построению систем централизованного управления движением. Данная концепция находит наиболее яркое проявление на железнодорожном транспорте, в авиации и в космических сообщениях.

10. Анализ всех рассмотренных материалов дает основание считать, что во всех случаях развития автоматических устройств управления на транспорте наступает момент, когда старые методы и элементы автоматизации принципиально не удовлетворяют развитию технического средства. В этом случае замена старых автоматических систем управления новыми происходит с особенностями, рассмотренными в настоящей работе, и процесс перехода имеет те же закономерности, что и выявленные. В диссертации показано, что переход на новые системы автоматического управления тогда оправдан, когда отвечает перспективам развития данного технического средства.

11. Автор полагает, что результаты проведенного исследования могут быть использованы в практике работы проектно-конструкторских и научно-исследовательских организаций авиационной промышленности при создании САУ для вновь разрабатываемых самолетов, а также преподавателями соответствующих дисциплин в авиационных вузах. Кроме того, данная работа может оказаться полезной для специалистов в области создания средств автоматизации управления на других видах транспорта.

Основные положения диссертации доложены автором на заседаниях секции авиации и космонавтики Советского национального объединения историков естествознания и техники; на ряде конференций аспирантов и научных сотрудников Института истории естествознания и техники Академии Наук СССР, а также опубликованы в следующих работах:

1. Чечулин Э.Г. К разработке метода анализа развития систем автоматического управления полетом самолетов. "Из истории авиации и космонавтики". Вып. 9, 1970, стр.64-84.
2. Чечулин Э.Г. Период зарождения систем автоматического управления полетом самолетов (1900-1920 гг.). "Из истории авиации и космонавтики". Вып.10, 1970, стр.83-96.
3. Чечулин Э.Г. Период становления систем автоматического управления полетом самолетов (1920-1945 гг.). "Из истории авиации и космонавтики". Вып.13, 1971, стр.96-107.
4. Чечулин Э.Г. Совершенствование элементов систем автоматического управления полетом на примере развития гироскопических приборов. "Из истории авиации и космонавтики". Вып. 16, 1972, стр.99-108.
5. Чечулин Э.Г. Тенденции развития систем автоматического управления полетом самолетов (после Второй мировой войны). Тезисы докладов XIII Международного Конгресса по истории науки. Москва, 1971 г.
6. Чечулин Э.Г. Основные закономерности и тенденции развития систем автоматического управления полетом самолетов. "Из истории авиации и космонавтики". Вып. , 1973, (в печати).