



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ»**

Факультет Лётной эксплуатации

Кафедра № 21 «Летной эксплуатации и безопасности полетов в гражданской авиации»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Дипломная работа

(пояснительная записка)

Тема: Эволюция средств отображения полетной информации

и анализ их влияние на безопасность полетов

**«В Государственную
экзаменационную комиссию»**

**Заведующий выпускающей
кафедрой
№21**

доцент, к.т.н.
(ученая степень, ученое звание)

Лобарь С.Г.
(подпись) (фамилия, и.о.)

Исполнитель:

Григоренко Г.Э.
(подпись) (фамилия,и.о.)

Руководитель:

доцент, к.т.н.
(должность, ученая степень,
ученое звание)

Королькова М.А.
(подпись) (фамилия, и.о.)

Санкт-Петербург

2023 г.

Глава 1. Средства отображения полётной информации и их эволюция.

1.1. Общие сведения о средствах отображения полётной информации.

Средства отображения полетной информации (далее СОИ) – представляют собой комплекс, содержащий информацию о параметре или параметрах полета, которые необходимы для безопасного и экономичного выполнения полета в виде, пригодном для восприятия пилотами.

Этими параметрами могут быть:

1. Навигационные параметры воздушного сужна (далее ВС), включающие в себя информацию о барометрической и абсолютной высоте полета, приборной и воздушной скорости ВС, пространственном положении ВС и др.
2. Параметры работы двигателей
3. Индикация состояния систем ВС
4. Информация о навигационной обстановке
5. Пространственное положение ВС
6. Данные о количестве топлива, противообледенительной жидкости, масла и прочих ресурсов, необходимых для выполнения полёта.
7. Метеорологическая обстановка в пределах рабочей области метеорологического радиолокатора (далее МРЛ)
8. Состояние средств автоматизированного управления ВС
9. Состояние каналов связи и др.

Вся эта информация предьявляется пилоту в количественной, качественной, а также картинной форме.

Внедрение систем дистанционного контроля и управления ВС, привело к тому, что СОИ стали использовать в качестве единственного источника информации о полёте ВС, состоянии системы автоматизированного управления (далее САУ) или системы «пилот-ВС» (life ware – hardware).

Для контроля различных параметров пилоты взаимодействуют не с самим ВС, а по сути, с его заместителями, в виде имитирующих образов, т.е. информационных моделей реального ВС, которые отражают все важные для управления свойства самолёта, на основании которых пилот формирует образ реальной обстановки, производит анализ и оценку сложившейся ситуации, планирует управляющие воздействия, принимает решения, обеспечивающие правильную работу систем ВС, а также выполнение конкретного этапа полёта. Например, пространственное положение ВС пилот определяет с помощью авиагоризонта, посмотрев на взаимное расположение индикатора (имитирующего образа самолёта) и шкал указателей крена, тангажа, затем, если это необходимо, с помощью органов управления ВС корректирует эти значения таким образом, чтобы они удовлетворяли требованиям руководства по летной эксплуатации (далее РЛЭ) и данного этапа полёта.

Наиболее существенной особенностью деятельности пилота с информационной моделью является необходимость соотнесения сведений, получаемых посредством приборов, пилотажно-навигационных и других дисплеев, как между собой, так и с самим ВС. Именно на этих процедурах и строится вся деятельность пилота. Отсюда понятно, что построение адекватной информационной модели является одной из важнейших задач не только при проектировании кабины, но и всего самолёта в целом.

1.2. Анализ требований и характеристик для разработки рекомендаций по проектированию и построению информационных моделей, предназначенных для эксплуатации ВС.

В работе по созданию информационных моделей, предшествующей выбору технических средств ее реализации, т. е. средств отображения информации, необходимо руководствоваться следующими эргономическими требованиями:

по содержанию: информационные модели должны адекватно отображать объекты управления, рабочие процессы, окружающую среду и состояние самой системы управления;

по количеству информации: информационные модели должны обеспечивать оптимальный информационный баланс и не приводить к таким нежелательным явлениям, как дефицит или переизбыток информации;

по форме и композиции: информационные модели должны соответствовать задачам трудового процесса пилота и его возможностям по приему, анализу, оценке информации и осуществлению управляющих воздействий.

Учёт всех этих требований обеспечивает нормальное функционирование системы человек-машина, а именно необходимую точность и оперативность их взаимодействия. Однако опыт показывает, что пилоты часто сталкиваются с трудностями, которые связаны с неправильным проектированием кабины самолёта, которое, в свою очередь, может быть следствием неполных представлений конструкторов о возможностях человека по приему и переработке информации. Например, в самолёте Cessna 172S Skyhawk пилот, при пилотировании по дублирующим (резервным) приборам, испытывает трудности, связанные с их неудобным расположением на приборной панели. Это обусловлено тем, что этот самолёт был разработан для выполнения полётов по правилам визуальных полетов (далее ПВП), что подразумевает ведение визуальной ориентировки и постоянное сличение карты с местностью. В свою очередь, резервный авиагоризонт, высотомер и указатель скорости расположены в самом низу центральной приборной панели, чуть выше РУД. Подобное расположение вынуждает пилота отводить свой взгляд на угол больше 60 градусов, что повышает утомляемость и увеличивает нагрузку на экипаж в не самой простой ситуации – отказ основных пилотажно-навигационных дисплеев, что оказывает негативное влияние на безопасность во время выполнения полётов на данном самолёте. Разобрав этот пример становится ясно, что если бы

конструкторы придерживались всех эргономических требований по созданию информационных моделей, то подобного бы не случилось и пилоты при данном отказе испытывали меньшее напряжение.

Опыт разработки и эксплуатации информационных моделей, а также специальный анализ деятельности пилотов с ними позволяют сформулировать ряд важнейших характеристик информационных моделей.

В модели должны быть представлены лишь те параметры и свойства, которые имеют непосредственное отношение к эксплуатации и функционированию систем ВС, а сама модель воспроизводит действительность в упрощённой форме и всегда является некой идеализацией действительности. Степень и характер упрощения и идеализации могут быть определены на основе анализа целей и задач проектируемого самолёта.

Модель должна быть наглядной, т.е. пилот должен иметь возможность быстро и правильно воспринимать отображаемую информацию.

«Читаемость» модели, определяемая её структурой, так же играет не малую роль. Правильная структура обеспечит быстрое и правильное восприятие пилотом сложившейся в полёте ситуации.

Заметно облегчается восприятие проблемной ситуации в полёте при наличии следующих функций модели:

- отображение конкретных изменений свойств и параметров самолёта при пилотировании;
- правильное отображение некорректности работы каких-либо систем.

Информация предоставляется пилоту в закодированном, а не натуральном виде, но при этом должен быть грамотно проработан сам интерфейс, т.е. особый язык, понятный человеку, который может быть использован машиной. Этот код должен быть создан так, чтобы работа системы экипаж-воздушное судно была максимально эффективна.

Информация не должна предоставляться в произвольной форме, а должна иметь определенные алгоритмы, полагаясь на которые, пилот сможет предугадывать поведение самолёта и парировать возможные его отклонения от нормального режима на данном этапе полёта.

Все эти характеристики должны быть учтены, но не обязательно в равной степени, ведь самолеты могут проектировать для абсолютно разных задач и целей. Так, например, при создании самолёта, предназначенного для воздушных перевозок пассажиров, уделяется большее внимание проработке отображения отклонений параметров систем самолёта от заданных, а также их неисправностей и ошибок, ведь при некорректной работе какой-либо системы, при бездействии пилотов, которое может быть следствием сложного и не наглядного отображения состояния систем ВС, может привести к катастрофе. В свою очередь, при создании самолёта сельскохозяйственной авиации наибольшее внимание уделяется абсолютно другим характеристикам информационных моделей.

В конечном итоге можно понять, что при проектировании информационной модели должно учитываться множество факторов. Проведя анализ приведённых ниже требований и характеристик, можно попробовать кратко сформулировать порядок по построению информационной модели, предназначенной для эксплуатации воздушных судов:

1. Определить цели и задачи модели, а также порядок их решения
 2. Определить:
 - способы и применяемые методы решения задач
 - потребное время на решение поставленных целей и задач
 - потребную точность модели
 3. Составить список типов объектов управления, определить их количество и параметры, которые необходимо учесть при решении задач
 4. Составить перечень учитываемых признаков объектов управления
- ВС

5. Произвести распределение признаков в зависимости от важности, выбрать те, учет которых необходим в первую очередь.

6. Произвести анализ, в результате которого можно будет распределить обязанности между пилотом и моделью, а также подобрать автоматическое оборудование для самой модели, с помощью которого она сможет справляться с поставленными задачами, а пилот мог бы.

Стоит отметить, что перечисленные выше этапы должны быть проделаны несколько раз, чтобы найти самое оптимальное решение в проектировании.

7. Выбрать такую систему кодирования, которая была бы наиболее легкой для восприятия пилотом;

8. Создание наиболее удобной композиции информационных моделей для пилотирования ВС и контроля работы его систем

9. Разработка оптимальной техники пилотирования на каждом этапе полёта на данном типе ВС

10. Разработка тренажёра для испытания информационной модели и оценки ее эффективности, а также выявления и устранения недостатков модели

После выявления недостатков, разрабатываются рекомендации и поправки, которые необходимо ввести, для более корректной работы СОИ и лучшей работы элементов модели SHELL экипаж-воздушное судно. 9 и 10 пункты повторяются до тех пор, пока модель не станет работать наиболее эффективно.

11. Определение степени необходимой квалификации пилотов и разработка методических указаний, а также разработка программы подготовки пилотов для эксплуатации данной модели.

12. Разработка методики пилотирования ВС с применением разработанной информационной модели на летном тренажере.

При условии, что все эти пункты были проделаны и была получена эффективная и корректная информационная модель, можно начинать работу

по инженерному проектированию и внедрению данной информационной модели в кабину экипажа ВС.

Предложенный порядок разработки и внедрения информационных моделей предоставлен в общем виде и может меняться, как и требования, предъявляемые к СОИ в целом.

1.3. Пространственные характеристики зрительной информации.

При проектировке и эксплуатации СОИ всегда должны быть рассмотрены следующие группы:

Каким образом разместить СОИ в кабине экипажа.

Размерные характеристики СОИ должны быть подобраны так, чтобы человеку было максимально легко и удобно считывать показания с них.

Наиболее эффективное расположение элементов восприятия на СОИ.

Для наиболее эффективного взаимодействия человека с информационной моделью существуют эргономические стандарты:

Для восприятия объемного изображения (3D) с СОИ, человеку необходимо, чтобы сам объект находился в пределах $30-40^\circ$ в горизонтальной плоскости.

Для восприятия плоского изображения (2D) человеку рекомендуется угол обзора $50-60^\circ$, охватывающий зону неясного различения формы (в пределах этого угла наблюдатель замечает происходящие изменения периферическим зрением, а для точного рассмотрения объекта переводит на него взгляд).

Важно отметить, что для человека предельный угол обзора при движении головы и глаз составляет 180° , однако, при отображении информации, которую пилот должен обработать максимально быстро,

например, пространственное положение ВС, показания на шкале указателя скорости **УС** и высотомера, курс и т.д. предельно-допустимый угол обзора 90° . При этом по горизонтали оптимальный угол обзора $0-30^\circ$ по отношению к нормальной линии взора (15° вверх и 15° вниз).

Существует понятие, о котором стоит упомянуть, прежде чем продолжить - *линия взора*.

Линия взора - она же линия визирования, наблюдения, зрения или зрительная ось - это воображаемая линия, которая соединяет зрачок и относительную точку, на которой зафиксировался взгляд человека. Именно линия взора берется за основу для определения углов обзора и наблюдения в обеих плоскостях: горизонтальной и вертикальной.

Горизонтальная линия взора является линией фиксации объекта или предмета, который находится в вертикальной плоскости, параллельно уровню земли, и при поднятии головы этот объект или предмет остается на уровне глаз того, кто наблюдает. Нормальная линия взора является линией фиксации объектов, которые находятся ниже горизонтальной линии взора на 15° , в нашем случае это СОИ.

Рассмотрим теперь и вертикальную плоскость.

Предельный угол обзора в вертикально плоскости составляет 70° при повороте только глаз, а при совместном движении глаз и головы - 90° вверх и 55° вниз от горизонтальной оси. Опираясь на эти данные, проектируются СОПИ, а именно их высота, ширина, а также пропорции. В большинстве современных ВС отношение длины к ширине СОИ соответствует значению 1,3:1. При этом наилучшее расстояние от глаз пилота до СОИ определяется как ширина СОИ * 2(2,5). Так же важно сказать, что точность и правильность восприятия информации так же зависит и от угла, под которым эта информация считывается. Оптимальный угол равен $\pm 15^\circ$ к нормали экрана. При этом при рассматривании экрана сбоку допускается угол до 45° к нормали экрана.

Для корректного интегрирования СОИ в кабину ВС необходимо принимать во внимание все эти эргономические данные, ведь если пилоту будет неудобно смотреть на приборы, безопасность полетов будет находиться на уровне ниже приемлемого в виду высокой вероятности совершения ошибки при восприятии информации.

1.4. Оптимальные размеры знаков и элементов

Знаки бывают 2 видов:

- Алфавит буквенно-цифровой;
- Алфавит условных знаков.

Стоит отметить важность такой характеристики, как размер различных знаков на СОИ. Например, если взять PFD, то можно заметить там такие знаки, как силуэт ВС, цифровая индикация высоты, скорости, магнитного курса, различные буквенные обозначения и др. Действительно, отрицать важность размера всех этих знаков невозможно, ведь если бы силуэт самолета был слишком мелок, то пилоту было бы гораздо сложнее определить пространственное положение ВС при пилотировании по ППП, как следствие это бы занимало большое количество времени, а как нам всем известно, при попадании самолета в СПП (сложное пространственное положение) времени на исправление не так много, поэтому размер силуэта самолета на PFD должен быть довольно крупным, в противном случае пилот может просто неправильно определить положение ВС или вовсе его игнорировать в виду более крупного размера иных знаков на приборе. Очевидно, что последствия могут быть трагичными. Нельзя не осветить и то, что большую роль играет не только размер знаков, но и цвет, контрастность и сложность начертания, поэтому силуэт самолета упрощен до стрелочки, а не представляет собой 3D изображение конкретного типа ВС.

Читаемость цифр обеспечивается выдерживанием оптимального соотношения основных характеристик знаков, а именно:

1. Высоты.
2. Ширины.
3. Толщины обводки.

Толщина линий по стандарту должна составлять 1/10 к высоте знака. Уменьшение толщины не приемлемо, ведь это так же может негативно отразиться на безопасности полетов.

1.5. Оптимальные характеристики компоновки знаков.

Чтобы пилот воспринял какую-либо информацию с СОИ, его глаз совершает движение от прибора к прибору с их фиксацией. Считывание и обработка информации происходит как раз в момент фиксации, а движение глаз формирует порядок восприятия информации. В соответствии с определенной закономерностью этих двух этапов формируется модель, определяющая последовательность считывания. Так же это можно назвать «поведение» глаз. В соответствии с этим «поведением» появились и требования к компоновке знаков и их взаимному расположению на СОИ. Эти требования разрабатываются на основе двух характеристик зрительного аппарата человека:

Оперативное поле зрения – пространство, видимое человеком при фиксации взгляда на одной точке;

Разрешающая способность двигательной системы глаза – определяет плотность изображения объектов или одновременно воспринимаемых групп этих объектов.

Стоит упомянуть, что значение величины оперативного зрения ограничивает число объектов, зрительную информацию о которых можно одновременно переработать.

На практике существует два вида представления информации:

1. Организованное;
2. Хаотичное.

Если мы говорим об организованном, то к нему относят формулярный и табличный методы организации знаковой информации.

Формулярный метод – буквы, цифры, условные знаки, а также кодирующие данные о самолете объединяются в компактно сгруппированную группу. Благодаря понятию об оперативном зрении сформировалось ограничение по количеству знаков в строке формуляра, в идеале их должно быть не больше 5. При этом всего в формуляре должно быть не более 12 знаков – это значение считается оптимальным.

Табличный метод же представляет собой распределение букв, чисел и условных знаков по столбцам и строкам, формирующих таблицу. Корректное и правильное считывание информации происходит благодаря возможности безошибочного определения информации, которая всегда находится в одном и том же месте. Пилот знает в какую строчку и в какой столбец посмотреть, чтобы узнать необходимую для него информацию в конкретный момент времени. Нельзя не упомянуть, что размеры таблицы зависят от все того же оперативного поля зрения, очевидно, что размеры таблицы не должны превышать это значение. Толщина и высота знаков определяется тем же способом, о котором было сказано в пункте 1.4 данной ВКР.

1.6. Яркостные характеристики зрительной информации

Для того, чтобы глаз пилота не был перегружен и считывание любого вида информации с СОПИ было правильным, в большинстве типов ВС существует кремальера, с помощью которой можно настроить уровень яркости и контрастности дисплея. Пилот сам выбирает то значение яркости, при котором ему будет наиболее удобно воспринимать информацию, в конкретный момент времени. Это значение зависит и от степени освещенности кабины внешними источниками света. В основном этим

источником света служит солнце, соответственно в светлое время суток, необходима большая яркость, в темное же практически минимальное ее значение. Ниже приведена таблица с такими значениями яркости, при которых глаз обретает самый высокий показатель контрастной чувствительности.

Наименование величин	Угловой размер объекта						
	1	2	3	5	10	50	150
Минимальный пороговый контраст, [кд/м ²]	0,12	0,045	0,03	0,018	0,012	0,01	0,008
	$1 \cdot 10^3$	$0,64 \cdot 10^3$	$0,3 \cdot 10^3$	$0,2 \cdot 10^3$	50	10	8

Таблица 1. Яркостные характеристики зрительной информации.

Глава 2. Эволюция СОИ

2.1. Первый этап эволюции СОИ (1903-1920 г.)

Путь от изобретения моторизованного самолета до серийной боевой машины занял около десяти лет. В этот период должна была быть разработана не только технология. Операторы бортовой системы, летчики, также должны были научиться пользоваться приборами. В этой главе будет описана эволюция средств отображения информации. Помимо изобретателей и разработчиков самолета, в центре внимания оказались и летчики, готовые пойти на большой риск. Кроме того, следует ответить на вопрос, какие устройства и средства позволяли летчикам безопасно выполнять полетное задание. Также представляет особый интерес тот факт, что в дополнение к устройствам и средствам, их функциям и расположению в кабине, на ранней стадии полета с двигателем были разработаны процедуры, которые до сих пор соблюдаются без изменений.

Мечта о полете давно присуща человечеству, но для реализации мечты нужны изобретатели, мыслители и провидцы. Если оставить в стороне поговорки и легенды, китайцы начали использовать ракеты в военных целях еще примерно в XIII веке. В последующие века Роджер Бэкон, Леонардо да Винчи, Джованни Баттиста, Джон Уилкинс и Джованни Борелли разработали множество теорий и провели летные испытания.

В 1783 году братьям Монгольфье удалось совершить первый полет, а точнее полет, с одним пассажиром на воздушном шаре. Особый интерес представляло влияние высоты на организм человека. При восхождениях на большие высоты произошло много несчастных случаев из-за гипоксии и

обморожений. Несмотря на это «проблемное давление», исследовать структуру атмосферы и ее влияние на организм человека можно было только практическим путем.

Спустя целое столетие появились и новые изобретатели, а также их теории, которые они реализовывали. 17 декабря 1903 года Орвилл Райт совершил первый полет за штурвалом самолета, который был тяжелее воздуха и обладал силовой установкой. Назывался он Флайер – 1.

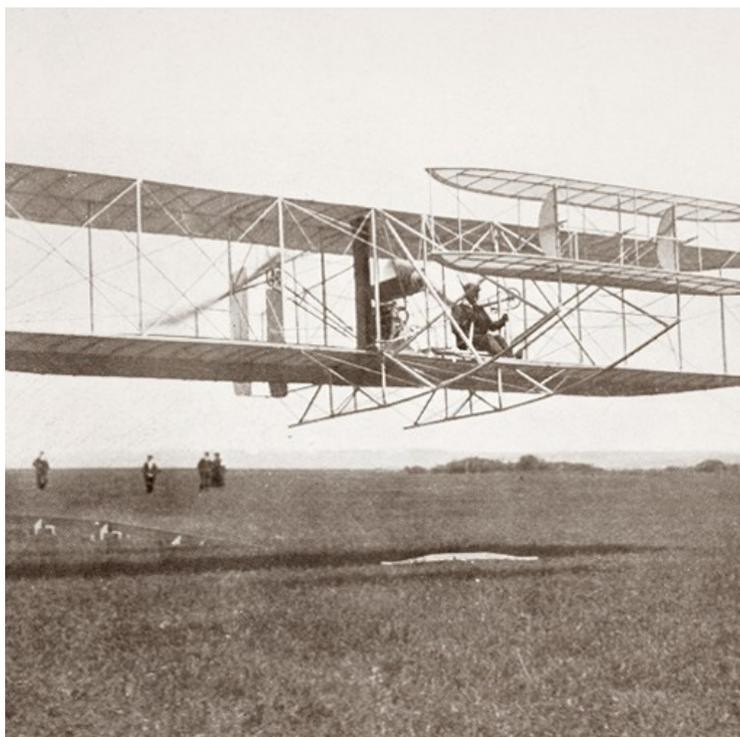


Рис. 1. Флайер – 1, первый самолет тяжелее воздуха.

Именно этот момент был принят за точку отсчета в истории авиации. Райты не использовали никаких устройств для обеспечения контроля за параметрами ВС.

Эволюция СОИ всегда шла рука об руку с эволюцией самого ВС. С течением времени задачи, выполнение которых возлагалось на пилота росли и было необходимо довести оснащенность воздушного судна до уровня, который бы позволил пилоту выполнить полетное задание. При этом должны быть опробованы технические возможности и изучены их физические свойства СОИ для обеспечения надежности их функционирования. Также

должны быть учтены требования к пилоту в обработке и оценке информации. Для того чтобы правильно учесть эти требования важно понимать, для решения каких задач будет использоваться пилотом СОИ.

Основой полета на самолете является решение трех важнейших задач:

1. Для того, чтобы самолет мог устойчиво перемещаться в воздухе, должны быть выдержаны определенные условия полета, путем достижения баланса между подъемной силой, веса самолета, силой тяги и лобовым сопротивлением.

2. При полете к конкретному пункту назначения важно выдерживать и так называемые навигационные параметры полета, такие как скорость и высота полета.

3. Необходимо учесть влияние окружающей среды на выполнение полета, такие как ветер, осадки (град, снег, дождь) географические препятствия и изменяющиеся условия освещения, которые должны быть либо компенсированы, либо пилот просто должен их избежать.

В процессе эволюции для помощи пилотам в решении всех трех задач были разработаны соответствующие СОИ.

В первые годы полетов на самолетах тяжелее воздуха практический полет с Глаза, уши и осязание были основными органами чувств, которые пилот использовал для управления самолетом. С их помощью пилот балансировал самолет и вел ориентировку.

Глаз оценивал высоту полета, расстояние до препятствий и погоду.

Ухо отслеживало вращение двигателя и звуки движения, издаваемые натяжными тросами или другими кромками на летающем объекте. Этот тип мониторинга состояния полета и навигации был упрощен за счет того, что пилот находился в „открытой кабине“ в первые годы полетов на ВС оборудованных двигателем.

Осязание давало понятие о скорости самолета, ведь с увеличением скорости, давление, оказываемое воздухом на пилота, росло. С другой стороны, осязание, помимо оценки скорости полета по силе ветра, также

давало представление о состоянии конструкции самолета, поскольку наличие вибрации в полете могло указывать на угрозу разрушения.

Чувство равновесия так же было очень важно. Сами братья Райт говорили, что для управления самолетом, необходимо чувствовать равновесие как при езде на велосипеде. И действительно, с помощью этого чувства пилот и контролировал полет самолета, а именно поддерживал самолет в состоянии механического равновесия. В то время самолеты были неустойчивы и различные внешние возмущения, такие как ветер, восходящие и нисходящие потоки воздуха, а также осадки, выводили самолет из состояния равновесия и пилоту требовалось постоянно вносить корректировки. Чтобы самолет пролетел дольше и соответственно дальше, пилотам было необходимо обладать чувством равновесия сравнимым с артистами цирка.

Райты использовали секундомер, анемометр и тахометр для силовой установки в своем первом самолете. Однако, их следует рассматривать скорее, как приборы для летных испытаний, чем как летные приборы, поскольку они были предназначены для регулировки оборотов двигателя перед полетом, а также для определения дальности, воздушной и путевой скорости полета с помощью анемометра и секундомера. Они никак не использовались для управления самолетом.

Первым прибором, который действительно был использован во время полета, был обычный кусок ткани. Спустя 6 лет после первого полета Райты прикрепили небольшой кусок ткани или веревки на крыло самолета, по отклонениям этого элемента можно было судить о скольжении во время выполнения разворота. Однако первооткрывателем подобного метода определения скольжения самолета были не братья Райт, а шотландский изобретатель Перси Пилчер, который использовал нить для обозначения углов скольжения для своих дельтапланов еще в 1894 году.

Техническая эволюция вскоре привела к созданию гораздо более совершенных самолетов. Скорость, летные характеристики,

продолжительность полета и мощность двигателя быстро росли, так что человеческих чувств было уже недостаточно для безопасного выполнения полета. Приборы теперь стали необходимыми. Однако первоначально приборы в кабине рассматривались пилотами как "лишний балласт". По их мнению, они только утяжеляли конструкцию. Только позже пилоты научились ценить достоинства приборов, как преимущество в плане безопасности. СОИ, изначально не были оборудованием, специально разработанным и изготовленным для авиации. Начиная примерно с 1911 года промышленность смогла предложить СОИ, оптимизированные для авиации. До этого некоторые устройства использовались в других областях техники, таких как судостроение, машиностроение, локомотивостроение и автомобилестроение, а также в метеорологии. Эти устройства, некоторые из которых были перепрофилированы, модифицировались для предполагаемого использования. Важным аспектом разработки пригодных для использования авиационных приборов было уменьшение размеров, а также снижение веса. Но пока это не было достигнуто, можно было обойтись другими существующими средствами.

По сути, первые приборы на самолете использовались для регулировки мощности и контроля работы двигателя. Одними из первых стандартных приборов были тахометры. Поскольку первые двигатели работали с максимальной мощностью, тахометры использовались только для проверки работы двигателя перед взлетом. Кроме того, пилоты избегали внесения изменений в режим работы двигателя во время полета, поскольку ранние двигатели были чрезмерно ненадежными, а постоянные изменения параметров работы двигателя увеличивали частоту отказов. Только равномерно работающий двигатель, практически свободный от вибраций, обеспечивал большую безопасность полета, при этом основные меры предосторожности по сегодняшним меркам можно охарактеризовать скорее, как очень низкие.

После того, как первым пилотам и изобретателям удалось преодолеть большие расстояния и покинуть окрестности аэродрома, пилоты использовали для навигации карту и компас. Первоначально использовались, например, лодочные или карманные компасы. Однако из-за отсутствия компенсации они были всего лишь несовершенными вспомогательными устройствами, поскольку их точность была сильно ограничена. Во-первых, многочисленные металлические детали из которых состояло ВС воздействовали на стрелку компаса, позже этот эффект стали называть девиацией, а во-вторых, такие эффекты, как крен, практически не учитывались и не компенсировались конструкциями обычных компасов.

В 1903 был изобретен прибор, ставший основополагающим для измерения курса – гирокомпас. Его преимущество над магнитным компасом заключалось в гораздо меньшей девиации, в виду меньшей чувствительности к магнитным полям, создаваемым металлическими элементами. Такие компасы моментально нашли применение. Обычно они устанавливались прочно на сиденье пилота или в нижней части крыла. Конструкция самолета повлияла на конкретное место установки самого гирокомпаса, поскольку выбранное место должно было находиться как можно дальше от пускового магнита и других более крупных металлических деталей, чтобы минимизировать отклонение. Но ошибка все еще присутствовала, по этой причине пилотам приходилось пользоваться в полете таблицей поправок.

Следующим прибором в кабине стал высотомер. Самым старым методом измерения высоты полета является барометрическое измерение высоты. Уже во время первых полетов на воздушном шаре для измерения высоты использовался барометр-анероид со шкалой, измеряемой в метрах или футах. В период первых полетов на самолете эти устройства также использовались, однако в первые пять лет их использование было сильно ограничено, поскольку высоты полета все еще были слишком малы.



году

Рисунок 1. Стандартный вид барометрического высотомера.

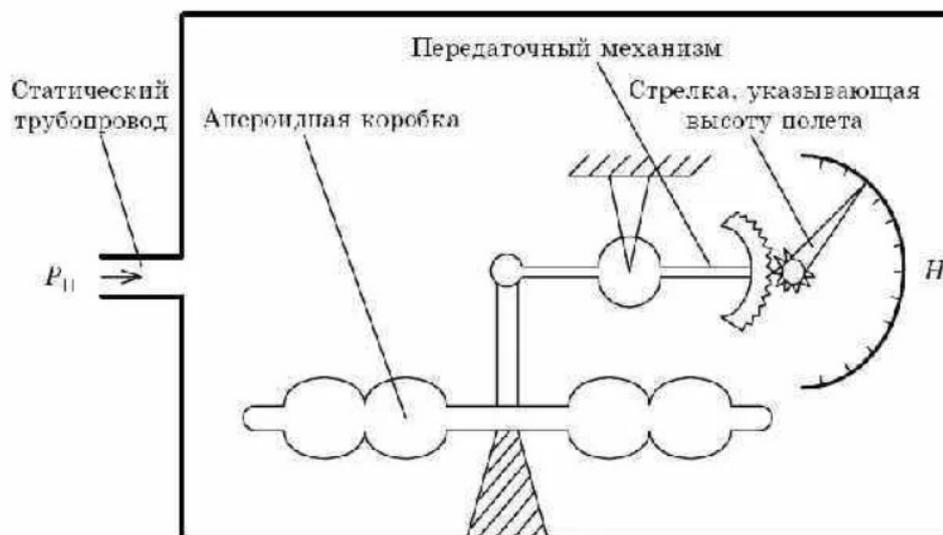


Рисунок 2. Схема барометрического высотомера

Принцип его работы основан на свойстве анероидной коробки расширяться или сужаться в зависимости от давления, которое оказывалось на нее, соответственно при увеличении высоты давление уменьшалось, а коробка расширялась, поворачивая стрелку высотомера через передаточный механизм. Регулировка барометра производилась в соответствии с соответствующей высотой аэродрома на земле перед взлетом. Таким образом, влияние погоды также было в достаточной степени учтено на коротких расстояниях полета. Поэтому неудивительно, что, несмотря на множество недостатков и неточностей, этот метод до сих пор находит свое применение в авиации. Неточность заключается в том, что, помимо высоты полета, атмосферное давление также зависит от текущих атмосферных

условий, таких как погода или изменения давления, например, из-за движения воздуха (ветра, температуры).

После высотомера появился и указатель приборной скорости ВС (рис.3).



Рисунок 3. Стандартный вид указателя скорости (УС-450).

Этот прибор имел особенное значение на первых самолетах в виду малой разницей между скоростями сваливания и максимальной крейсерской скорости, из-за чего часто происходили крушения самолетов. Основоположником принципа работы данного прибора был французский инженер Анри Пито. Именно он создал свое изобретение – трубку Пито, измеряющей напор жидкости или газа, поступающего в нее. Позже немецкий инженер Людвиг Прандтль изобрел прибор для измерения динамического давления – трубку Прандтля, состоявший из трубки Пито, измеряющей полное давление и трубки для измерения статического давления. Разницей полного и статического давления как раз и было динамическое давление, или скоростной напор.

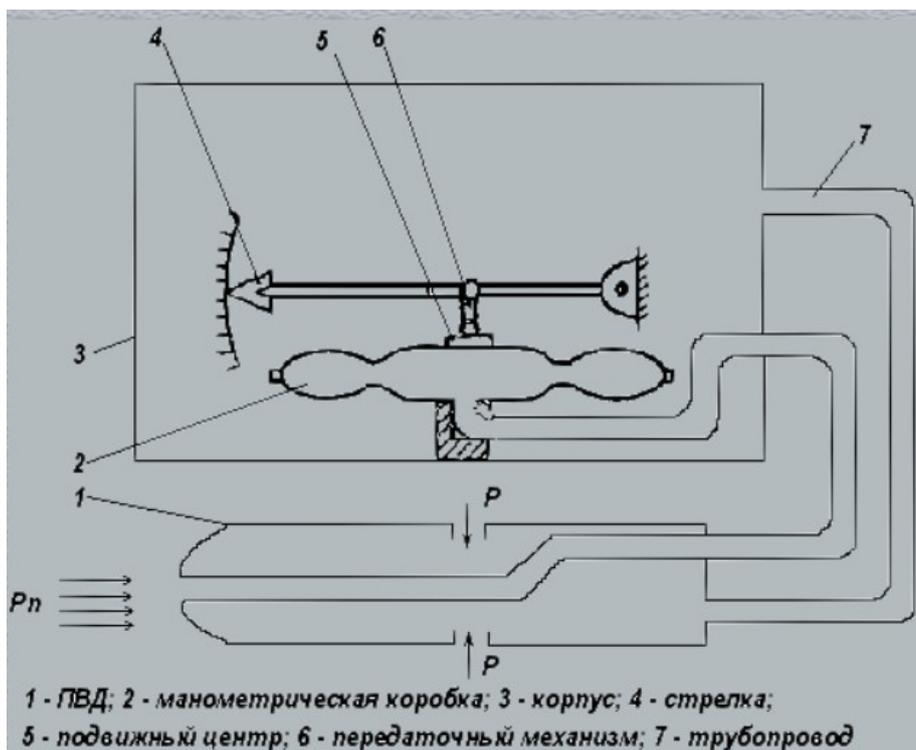


Рисунок 4. Схема указателя приборной скорости

По сей день используется данный принцип измерения приборной скорости.

Стоит отметить, что расположение приборов в кабине было хаотичным и не существовало единой модели расположения приборов.

Подвести итог о первых полетах то время можно общим выводом о подготовке и выполнении полета на первых самолетах: пилот приходил со своими помощниками к самолету, выполнялась настройка работы двигателя с помощью тахометра, затем пилот работал с самой кабиной, устанавливал давление места взлета, а также вносил поправки в указатель курса, с помощью таблицы поправок, которая в дальнейшем использовалась на протяжении всего полета. Затем рассчитывались значения необходимых для полета параметров, которые не измерялись во время полета, эти параметры сличались с фактическими и принималось решение о воздействии на органы управления во время полета для устранения отклонений или для того чтобы свести эти отклонения к минимуму. Во время самого полета пилот использовал в основном свои собственные органы чувств, а приборы измеряющие пилотажно-навигационные характеристики уходили на второй план и использовались только для контроля и уточнения основных

параметров ВС. Ориентировка велась визуально путем сличения карты с местностью.

Следующим этапом развития самолетостроения считается первая мировая война, где самолеты нашли свое применение как боевые машины. Впервые их использовали для выполнения военно-стратегических задач в Болгарии. Самым совершенным самолетом на момент начала первой мировой войны был отечественный самолет «Илья Муромец» сконструированный И.И. Сикорским. Легендарный самолет принято считать первым в истории пассажирским самолетом, так как помимо кабины пилота был предусмотрен отсек для размещения пассажиров, но во время боевых действий отсек использовался для размещения бомб, поэтому данный самолет относят к бомбардировщикам. Первый прототип самолета был оснащен открытой кабиной, однако после летных испытаний Сикорский решил отказаться от привычной на тот момент схемы конструкции, где кабина была отделена от фюзеляжа, встроив кабину прямо в фюзеляж. Именно так и появился первый в мире самолет с закрытой кабиной (рис.4).



Рисунок 4. Кабина самолета Илья Муромец.

Помимо того, что кабина была закрыта, можно отметить и то, что там было отопление и свет, сама кабина была оснащена каждым из

перечисленных ранее приборов, а именно, указателем скорости, высоты, компасом, а также тахометрами для каждого из 4 двигателей самолета. Сам Сикорский во время проектировки самой кабины уделил не малое внимание ее эргономике, и это принято считать первой попыткой эргономической адаптации кабины пилотов. В дальнейшем мировое авиационное сообщество, определив все достоинства и недостатки закрытой кабины, пришло к единому мнению о переходе к именно такой модели.

В виду многочисленных отказов двигателей на самолетах было принято решение о внедрении в кабину пилотов дополнительных приборов, отвечавших за работу двигателя, а именно измерявших давление масла и температуру двигателя, причем, как и в случае с тахометром данный прибор отражал показания только одного двигателя, следовательно, с ростом количества двигателей росло и количество приборов на приборной доске. В связи с большим обилием информации, которую пилоту было необходимо обрабатывать, было принято увеличить экипаж самолета до 2 человек. В кабине было предусмотрено 2 места, слева и справа. Пилотирующий пилот, или же *pilot flying* (далее PF), которым обычно становился человек, обладающий большим опытом и отличными навыками пилотирования, располагался слева, а контролирующий или же *pilot monitoring* (далее PM) справа, следовательно и авионика была расположена соответствующим образом, то есть приборы, которые содержали в себе информацию о пилотажно-навигационных параметрах ВС, которые были необходимы должны были быть расположены в левой части приборной панели, а приборы с параметрами работы двигателя в правой. Однако, после ряда случаев, в которых PF терял способность к управлению ВС, по различным причинам, а второй пилот испытывал сложности с контролем параметров ВС в виду неудобного расположения приборов, было решено продублировать приборы, содержащие пилотажно-навигационную информацию и в правой части кабины, а индикацию параметров двигателя переместить на центральную часть приборной панели, благодаря чему, во первых, PM мог гораздо проще

контролировать высоту, скорость, курс и другие параметры, во вторых, РГ мог наравне с РМ контролировать работу двигателя, таким образом обеспечивался двусторонний контроль за параметрами, что способствовало значительному повышению уровня безопасности полетов в то время. Данный принцип используется и по сей день. Так же данное нововведение способствовало гораздо более продуктивному обучению новых пилотов.

Нельзя не упомянуть и первый изобретенный автопилот. Его испытания были произведены в 1912 году. Он представлял собой гидравлический привод с блоком, который, получая сигналы от гирокомпаса и высотомера, и был соединен с рулем высоты и направления. Таким образом обеспечивалось автоматическое выдерживание направления полета.

Рассмотрев первый этап эволюции, можно понять, что уже в первые годы полетов стали появляться различные приборы, позволявшие пилотам контролировать параметры полета, что безусловно позитивно сказывалось на безопасности полетов.

2.2. Второй этап эволюции СОО (1920-1960г.)

Следующим этап развития авиации называют «Золотым веком», ведь эти годы характеризуются значительным прорывом в совершенствовании ВС. Ключевым стало решение конструкторов отказаться от водяного охлаждения двигателей и перейти на воздушное охлаждение, благодаря чему была облегчена конструкция и увеличена мощность самого двигателя, однако, самолеты, конструкция которых была основана на элементах, выполненных из дерева, начали разваливаться в полете из-за значительного увеличения нагрузки, которую испытывал фюзеляж в виду увеличения скорости полета. Решением этому стал фюзеляж, выполненный из более прочного и практичного материала – алюминия. Эти изменения позволяли производить полеты на больших высотах, чем это было ранее, однако, несмотря на такие улучшения, по-прежнему, самолеты могли эксплуатироваться только в хороших метеорологических условиях так как по-прежнему пилот мог определить свое пространственное положение

только с помощью глаз. Именно в этот момент конструкторы начали думать о создании прибора, который мог бы позволить пилоту определить пространственное положение ВС даже в условиях ограниченной видимости. Таким прибором стал авиагоризонт (далее АГ). Принцип действия авиагоризонта был основан на свойстве гироскопа сохранять свою ось вращения не зависимо от его движения. Однако эта ось поддерживается при постоянном движении гироскопа, которое обеспечивалось посредством электропривода.

Изначально, АГ был разработан в США в 1929 году и имел на тот момент привычную и являющуюся стандартной на сегодняшний день - прямую индикацию (далее ПИ) (Рис. 5).



Рисунок 5. Авиагоризонт с прямой индикацией.

В СССР так же разрабатывали свой АГ, но советские конструкторы отказались от американской системы индикации и сделали свою, которую называют обратной, или же советской системой индикации (Рис. 6).

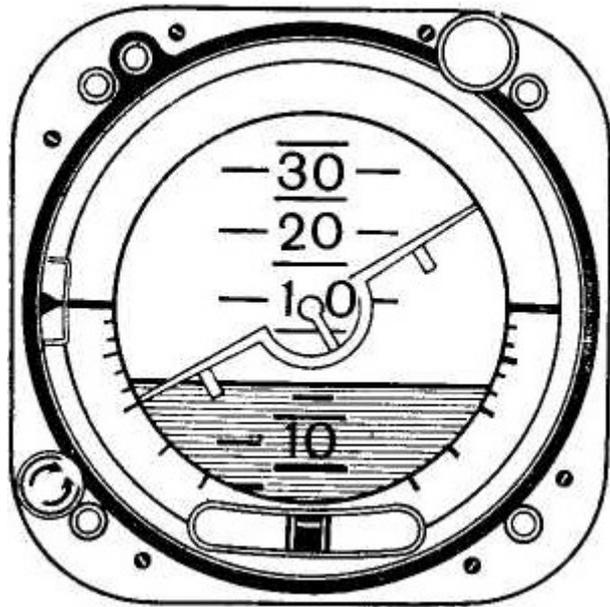


Рисунок 6. Авиагоризонт с обратной индикацией.

Принципиальное различие этих двух индикаций в том, что американский АГ показывает, как расположен горизонт по отношению к самолету (индикатор самолета зафиксирован в центре, горизонт подвижен), а советский показывает, как располагается самолет по отношению к горизонту (горизонт зафиксирован, сам индикатор самолета подвижен).

Таким образом идея американских конструкторов была в том, чтобы пилот, видел на приборе самолет в привычном положении по отношению к себе находясь в самолете. Идея же советских конструкторов заключалась в том, что пилот мог увидеть «со стороны» как расположен самолет по отношению к горизонту, что на их взгляд было гораздо понятнее. Рассмотрим преимущества и недостатки.

Главным недостатком было то, что при углах крена близких к 90 можно легко запутаться. Чтобы убедиться в этом рассмотрим изображение

ниже.



Рисунок 7. Отображение пространственного положения самолета на АГ ОИ при крене большем, чем 90.

Посмотрев на АГ, на первый взгляд кажется, что чтобы вывести самолет из крена необходимо отклонить штурвал вправо, однако присмотревшись можно заметить, что силуэт самолета перевернут, что говорит нам о том, что крен в данный момент примерно 120 градусов вправо, а не 30 градусов влево, как кажется на первый взгляд, соответственно и отклонение штурвала должно быть произведено влево.

Рассматривая ситуацию с креном больше 90 градусов на АГ ПИ, такой проблемы быть не может, ведь земля, отображаемая коричневым цветом при таком крене, будет сверху, а небо снизу, что сразу дает понять пилоту о своем положении в воздухе.

Продолжая изучать эволюцию стоит отметить, что в 20х годах прошлого столетия появилась и цветовая индикация на приборах. В основном, она представляла собой краску, нанесенную вокруг шкал приборов. Причем назначение у цветовой индикации было различным.

По назначению шкал применялись следующие цвета:

- Желтый – обозначались приборы, либо шкалы, отвечающие за топливо
- Черный – приборы, либо шкалы, отображающие значения температуры головок цилиндров.
- Бордовый – обозначались приборы, либо шкалы, отвечавшие за отображение характеристик масла, таких как температура и давление.

Цветовые обозначения помогали пилоту ориентироваться среди приборов и предотвращали возможность его ошибки при распознании значений. Например, если бы приборы не имели цветовых обозначений пилот мог, посмотрев на значение температуры цилиндров, которое значительно выше значения температуры масла в нормальных условиях полета, мог ошибочно принять данное значение за высокую температуру масла и отключить двигатель, когда значение температуры масла на самом деле было в норме.

Цвета использовались и для выделения нормальных, аварийных и критических диапазонов параметров ВС. Подобное решение было особенно применимо к отображению показателей работы двигателя, ведь действительно, пилот, не обнаруживший вовремя выход параметров работы двигателя за предельное значение, подвергал самолет и себя опасности. Так, например, не обнаруженное вовремя высокое значение температуры цилиндров, которое могло возникнуть из-за того, что пилот забыл открыть створки обдува радиатора, могло привести к отказу двигателя и возможной гибели пилота.

Среди цветов, которые наносились для выделения диапазонов можно выделить как минимум 2:

- Зеленым или белым - выделялись нормальные эксплуатационные значения работы того или иного элемента двигателя;

- Желтый – выделялся аварийный диапазон, предупреждающий о подходе к критическим значениям;
- Красный – выделялись критические значения, которые недопустимы, и могут привести к серьезным неисправностям или выходу из строя соответствующей системы.



Рисунок 8. Цветовая индикация в самолете Messerschmitt Me.262.

Пилот, заметив положение стрелки в красном диапазоне должен был немедленно предпринять меры, которые были прописаны в РЛЭ, и произвести посадку для выяснения причины неисправности.

Вопрос навигации в то время стоял довольно остро, начали появляться первые наземные радиостанции, и не с проста, ведь в 1920 году был впервые применен для навигации автоматический радиоконпас (далее АРК), который позволял выполнять полет от и на радиостанцию или радиомаяк.



Рисунок 9. АРК-11

Сам АРК принимал сигнал, передаваемый радиостанцией с помощью двух антенн – ненаправленной и рамочной и на стрелке компаса было показано направление на радиостанцию, зная это направление и курс самолета можно было определить курсовой угол радиостанции (далее КУР), ведь КУР – угол, заключенный между продольной осью самолета и направлением на радиостанцию. Выдерживая простой параметр, а именно $\text{КУР} = 0$, пилот мог осуществлять полет по маршруту, где поворотными пунктами были радиомаяки или радиостанции.

В комплекте с прибором шел и пульт управления, на котором задавались такие параметры, как частота радиостанции, на которую необходимо было лететь, режим работы АРК.

Помимо всех преимуществ, связанных с его применением, стоит отметить и его габариты, теперь конструкторам предстояло расположить не

только сам прибор в кабине пилота, но и пульт управления, при этом сделать это нужно было так, чтобы пилоту было максимально удобно пользоваться данным навигационным средством.

И только в 40-е годы АРК стал повсеместно применяться в авиации, и так же появились и дальномерные системы, которые, работая в совокупности с самим АРК, позволяли выполнять полет через навигационные точки, которые задавались Пеленгом и дальностью от радиомаяка. Это повысило вариативность самих маршрутов и способствовало удовлетворению растущего количества рейсов. Безопасность полетов так же возросла при использовании АРК, ведь это увеличивало точность аэронавигации, главным образом, при заходе на посадку и позволяло выполнять ее в сложных метеоусловиях.

Свое применение радио нашло и при выполнении другой задачи. Необходимым было ведение связи с землей во время полета, так как с развитием авиаперевозок, количество самолетов в районе аэродромов тоже росло, что требовало контроля с земли, который обеспечивался посредством работы служб организации воздушного движения. Но как же обеспечивался этот контроль? Изначально пилоты поддерживали связь с диспетчером с помощью телеграфа. Сами сообщения при этом принимались и передавались в виде кода Морзе. Такое устройство как телеграф требовало для использования необходимой подготовки, а также времени, которое у пилотов было весьма ограниченным. Вскоре в середине 40х годов свое применение нашла и высокочастотная радиотелефонная связь, которая позволяла передавать речевые сообщения через микрофон гарнитуры пилотов, из недостатков данной системы самый существенный – маленький радиус действия. Поэтому телеграф все еще имел место на существование, ведь имел гораздо большее значение дальности приема входящих сигналов. Рассмотренное ранее количество появившихся приборов увеличивали нагрузку на пилота и поддерживать связь одновременно с пилотированием и контролем различных параметров означало еще большее увеличение

зрительной нагрузки на пилота. Поэтому появилась необходимость в еще одном члене экипажа – радиста, присутствие которого на борту смогло бы разгрузить пилота. Он отвечал за ведение связи при полете по маршруту принимал сигналы с телеграфа и в целом вел связь любого рода позволяя пилотам в большей мере сконцентрироваться на пилотировании. Однако частым было явление переутомления самого бортрадиста, что приводило к снижению концентрации и работоспособности в целом. Данный феномен удалось устранить с помощью еще одного изобретения человечества – системе селективного вызова.

Использование радиоволн нашло свое применение и в определении таких навигационных параметров как путевая скорость и угол сноса самолета. Было решено изобрести прибор, принцип действия которого был бы основан на эффекте Доплера, который заключается в том, что если источник колебаний движется относительно наблюдателя, то наблюдатель воспринимает колебания с частотой, отличающейся от излучаемой. Данный прибор получил название доплеровский измеритель путевой скорости и угла сноса, сокращенно ДИСС.

Первые пассажирские авиаперевозки начались в 20х годах XX века. Сами расстояния, проходимые самолетами во время рейсов, были незначительными, а перелеты были долгими. Так, например, перелет через Атлантику занимал у пилотов больше 2 суток, что конечно вызывало усталость экипажа и было необходимо наличие еще одного экипажа на борту. Для того чтобы облегчить пилотам задачу пилотирования на столь большие расстояния в самолетах, выполнявших полеты на большие расстояния появился автопилот, однако он уже был более совершенным, чем рассмотренный ранее первый автопилот. В отличии от него, данный мог не только стабилизировать полет самолета, но и производить эволюции, такие как разворот, выполнение снижения и набора высоты, а также выполнение взлета и посадки ВС. Такой функционал автопилота позволял уделить

большее внимание навигации, ведению связи и контролю параметров систем самолета, а также разгрузить пилота, давая ему возможность отдохнуть. С другой стороны, так как обязанности пилота теперь выполняла автоматика, сам пилот мог быть не сфокусирован на выполнении полета, что является безусловно негативным фактором. Но тем не менее, при должном контроле в использовании автопилота можно найти гораздо больше плюсов, чем минусов. Сами пилоты отмечали, что с повышением автоматизации ВС, возрастал и объем знаний, которыми должен был обладать пилот.

Продолжая анализ эволюции СОИ, хотелось бы выделить знаменательное событие, произошедшее на данном этапе. В ходе второй мировой войны произошел значительный прогресс в авиации, появление реактивных двигателей, повсеместное использование автопилота, появление гидравлических систем, убирающихся шасси и закрылок и другие. Все это стало причиной стремительного развития авиаперевозок по всему миру, но так как летало все больше людей, необходимо было обеспечить их безопасность в воздухе. Именно для обсуждения вопросов безопасности выполнения полетов в гражданской авиации и были созданы 55 государств в 1944 году, в результате чего появилась первая конвенция о международной гражданской авиации, которая была названа Чикагская, так как проводилось собрание в Чикаго. Таким образом государства, которые подписались в ней должны были соблюдать суверенитет друг друга, а также следовать общим рекомендациям и внедрять на их основании правила выполнения полетов на территории своих государств. На основании второй части данной конвенции была учреждена международная организация гражданской авиации – International Civil Aviation Organization (далее ICAO). Данная организация утверждала все новые правила и разрабатывала концепцию безопасности полетов.

