

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ПРОСТРАНСТВЕННОМ ПОЛОЖЕНИИ ВОЗДУШНОГО СУДНА

АНДРЕЙ АКСЕНТЬЕВИЧ КУЧЕРЯВЫЙ

АО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения»

Россия, 432071, Ульяновск, ул. Крымова, д. 10а

E-mail: kucheryavy.a@yandex.ru

Авиационные приборы, измеряющие угловое положение воздушного судна относительно горизонта и делающие эту информацию доступной для летчика, играли важнейшую роль в освоении слепого полета, позволяя уверенно летать вне видимости земли: в облаках, ночью и в сложных метеоусловиях. Не случайно именно такие приборы или их современные последователи занимают центральное место на приборной доске любого воздушного судна. Их истории посвящен ряд работ в основном советского периода (библиография приведена на сайте Института истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН). К сожалению, им присущ идеологизированный подход, свойственный всем публикациям того времени: отечественные изобретения и достижения объявлялись лучшими и первыми, чужие успехи замалчивались. Другая причина такого подхода состояла в сложности доступа к зарубежным источникам: ведь только с недавнего времени печатные издания и архивные материалы первой половины XX в. стали оцифровывать и выкладывать в Интернет, благодаря чему они становятся доступными.

Но и англоязычным статьям и заметкам по истории авиационной техники часто присуще одностороннее освещение вопроса. Причина здесь, по-видимому, в незнании успехов, достигнутых в других странах, как из-за сложности доступа к источникам информации, так и языкового барьера.

В данной статье преследуется цель на основе отечественных и зарубежных источников дать по возможности более объективную и широкую ретроспективу развития приборов, предназначенных для пространственной ориентировки летчиков. Многие из них совершенно забыты и, возможно, напрасно: в них были заложены интересные идеи и принципы действия, которые могут пригодиться и теперь (конечно, на современном уровне реализации).

Ключевые слова: индикация пространственного положения, авиагоризонт, авиационные приборы, история авиации.

THE HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF THE AIRCRAFT ATTITUDE DISPLAY DEVICES

ANDREI AKSENTIEVICH KUCHERYAVYI

JSC "Ulyanovsk Instrument Manufacturing Design Bureau"

Ul. Krymova, 10a, Ulyanovsk, 432071, Russia

E-mail: kucheryavy.a@yandex.ru

Aircraft devices measuring the angle position of the aircraft in relation to the horizon and making this information available to the pilot played a crucial role in the development of instrument flying, allowing to fly with confidence in the situations of no ground visibility: in the clouds, at night, in poor weather conditions. It is not accidental that it is these devices or their modern successors that occupy a central place on any aircraft dashboard. A number of works, mostly from the Soviet period, are devoted to the history of these devices. Unfortunately, what they all have in common is an ideologized approach typical for all publications of that time: Soviet inventions and achievements were declared the first and the best while the achievements of others were understated. Another reason behind such approach was poor access to foreign sources: it was only recently that printed publications and archive materials from the first half of the 20th century began to be digitized and posted on the Internet, which makes them easily accessible.

The articles and papers in English on the history of aircraft engineering, however, often demonstrate a lopsided presentation of the facts, probably due to the lack of awareness of successes achieved in other countries resulting from poor access to information sources and language barrier.

This paper aims to provide a maximally unbiased and broad retrospective on the development of attitude display devices, based on the Russian and international sources. Many of these devices are completely (and perhaps, unduly) forgotten: they contain many interesting ideas and operating principles that may come in handy even today (naturally, provided that the implementation is state-of-the-art).

Keywords: attitude display, artificial horizon, flight instruments, aviation history.

Определение и индикация пространственного положения (ИПП) какого-либо объекта относительно горизонта — давняя задача, которая возникала во многих видах человеческой деятельности задолго до появления воздушных судов (ВС). Когда горизонт виден, все элементарно. Но в противном случае, например, в пределах городской застройки или в лесу, нужен некий инструмент. В строительстве для этого использовали плотницкий уровень — пузырек воздуха в стеклянной ампуле. Поворачивая уровень до тех пор, пока пузырек не окажется в центре ампулы, можно добиться горизонтального положения инструмента и по нему отмерять направления.

Подобная задача возникала и в морской навигации. Для того чтобы производить навигационные измерения с помощью секстантов и других оптических приборов, нужно установить их основание в горизонтальное положение. Днем и в ясную погоду это не составляет труда. Однако в тех случаях, когда светила видно, а горизонт — нет (в тумане, ночью) нужен инструмент,

позволяющий точно определить линию горизонта. Использовали тот же плотницкий уровень (ватерпас), но при качке он плохой помощник, поскольку на него воздействует не только гравитация, но и качка.

Решение этой проблемы нашли в гироскопе. Предшественница гироскопа, юла, была известна с незапамятных времен. Уникальное свойство юлы, или, как тогда говорили, «волчка», — это способность поддерживать направление оси вращения при воздействии внешних возмущений. Сначала волчок был просто занятой игрушкой, но со временем его попытались использовать и в практических целях. Еще в 1743 г. Дж. Серсон¹ применял волчок для определения линии горизонта, когда туман препятствовал визуальному наблюдению. В его приборе перевернутая металлическая чаша приводилась шнуром в быстрое вращение, а отполированное плоское дно служило искусственным горизонтом².

В 1802 г. И. Боненбергер придумал и изготовил прибор, который запоминал заданное направление. Он представлял собой вращающийся шар в кардановом подвесе³. В течение всего XIX и в начале XX в. усилиями многих людей из разных стран создавалась теория гироскопии, прорабатывались практические применения гироскопов, строились экспериментальные образцы. На рубеже веков, наконец, появились успешные приборы, которые потом выпускались серийно. Все они предназначались для морского флота. Ж. Флэрие создал гирогоризонт (1886)⁴, Л. Обри — стабилизатор курса торпеды (1896)⁵, О. Шлик использовал гироскопы в успокоителях качки судов (1904)⁶, Г. Аншюц-Кемпфе разработал гирокомпас (1908)⁷.

¹ Джон Серсон (*John Serson*, ум. 1744) — английский моряк, капитан, погиб при испытаниях своего прибора на море.

² См.: Андреев В. Д., Блюмин И. Д., Девянин Е. А., Климов Д. М. Обзор развития теории гироскопических и инерциальных навигационных систем // Развитие механики гироскопических и инерциальных систем / Ред. А. Т. Григорьян. М.: Наука, 1973. С. 33–72; Wagner, J. F. From Bohnenberger's Machine to Integrated Navigation Systems, 200 Years of Inertial Navigation // Photogrammetric Week 05, Heidelberg 2005 (см.: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo05/160wagner.pdf>).

³ Иоганн Фридрих Боненбергер (*Johann G. Friedrich Bohnenberger*, 1765–1831) — разносторонний ученый (астроном, геодезист, математик, физик), профессор Тюбингенского университета. См.: Wiley Survey of Instrumentation and Measurement / S. A. Dyer (ed.). New York: Wiley & Sons, 2004.

⁴ Жорж Эрнест Флэрие (*Georges Ernest Fleuriais*, 1840–1895) — капитан (впоследствии — адмирал) военно-морского флота Франции. См.: Nagem, R. J., Sandri, G. Translators' Notes // Klein, F., Sommerfeld, A. The Theory of the Top. New York: Springer, 2014. Vol. 4 (Technical Applications of the Theory of the Top). P. 989; Fleuriais, G. Gyroscope-collimateur // Revue maritime et coloniale. 1886. T. 91. P. 412.

⁵ Людвиг Обри (*Ludwig Obry*, 1852–1942) — моряк, изобретатель. Служил в военно-морском флоте Австро-Венгерской империи. См.: Nagem, Sandri. Translators' Notes... P. 950.

⁶ Эрнст Отто Шлик (*Ernst Otto Schlick*, 1840–1913) — немецкий инженер-кораблестроитель. См.: Андреев, Блюмин, Девянин, Климов. Обзор развития теории... С. 33–72.

⁷ Герман Аншюц-Кемпфе (*Hermann Franz Joseph Hubertus Maria Anschütz-Kämpfe*, 1872–1931) — немецкий изобретатель, основатель компании «Аншюц унд Ко.» (*Anschütz und Co.*), выпускавшей гироскопические приборы. См.: Краснов А. И. Волчок и применение его свойств. М.: Гостехиздат, 1958.

Флэрие назвал свой гироскоп *gyroscope collimateur* – гироскопический коллиматор. Это был, скорее, инструмент, а не прибор, поскольку определение горизонта с его помощью производилось с участием человека. Коллиматор использовался для выставки секстанта в горизонт и являлся его частью (рис. 1). Ротор гироскопа приводился во вращение воздухом от насоса, а по бокам прибора были сделаны два отверстия, позволявшие наблюдать его вращение на просвет. На роторе друг напротив друга были установлены две линзы с горизонтальными рисками. При вращении ротора для наблюдателя вращающиеся риски выглядели сплошной линией. На линзах наблюдательной трубы также сделаны риски. Их нужно было выровнять по опорной горизонтальной линии, создаваемой линзами на роторе.

Секстант Флэрие использовали не только французские моряки, во время Русско-японской войны он применялся и на российских кораблях ⁸.

Аналогичная задача определения плоскости горизонта возникла и в авиации уже в период ее зарождения. Авторы проектов первых, так и не полетевших аэропланов собирались снабдить свои аппараты приборами, помогающими летчику поддерживать горизонтальный полет: французские конструкторы Ш. Пено и П. Гошо (1876) предусмотрели датчик угла тангажа ⁹, А. Ф. Можайский (1878) – три креномера ¹⁰.

Конструкторы того времени также были серьезно озабочены устойчивостью аппарата, опасаясь, что летчик не успеет вовремя среагировать на порывы ветра и аппарат перевернется. Поэтому казалось необходимым иметь на борту автомат, который независимо от летчика будет возвращать аппарат в горизонтальное положение. Этому автомату тоже нужны были датчики горизонта. В проекте аэроплана С. К. Джевецкого (1883) использовался датчик маятникового типа: при отклонении от вертикали он замыкал контакты и включал электромеханизм, возвращающий аппарат в исходное положение ¹¹. К. Э. Циолковский в своей конструкции аэроплана (1894) предложил автомат стабилизации на основе гироскопа ¹².

Но когда в начале XX в. самолеты действительно полетели, автопилотов и приборов ИПП на них не оказалось (за исключением элементарных уклономеров). Да и вообще бортового оборудования было очень мало. Такая скудость оборудования объяснялась тремя основными причинами. Первая, техническая, заключалась в том, что, несмотря на успехи, достигнутые к этому

⁸ Klein, Sommerfeld. The Theory of the Top... P. 919.

⁹ Шарль Альфонс Пено (*Charles Alphonse Pénaud*, 1850–1880) – французский изобретатель и исследователь, пионер авиации. Поль Гошо (*Paul Gauchot*) – механик, соратник Пено. См.: *Соболев Д. А. История самолетов. Начальный период*. М.: РОССПЭН, 1995.

¹⁰ Александр Федорович Можайский (1825–1890) – русский контр-адмирал, изобретатель, пионер авиации. См.: *Дузь П. Д. История воздухоплавания и авиации в России*. М.: Машиностроение, 1981.

¹¹ Степан Карлович Джевецкий (*Stefan Drzewiecki*, 1843–1938) – польско-русский ученый, инженер, изобретатель, автор ряда конструкций подводных лодок. См.: *Келдыш М. В. и др. Авиация в России: справочник*. М.: Машиностроение, 1988.

¹² Константин Эдуардович Циолковский (1857–1935) – русский ученый и изобретатель, по профессии – школьный учитель. Основоположник теоретической космонавтики. См.: *Келдыш и др. Авиация в России...; Соболев. История самолетов...*

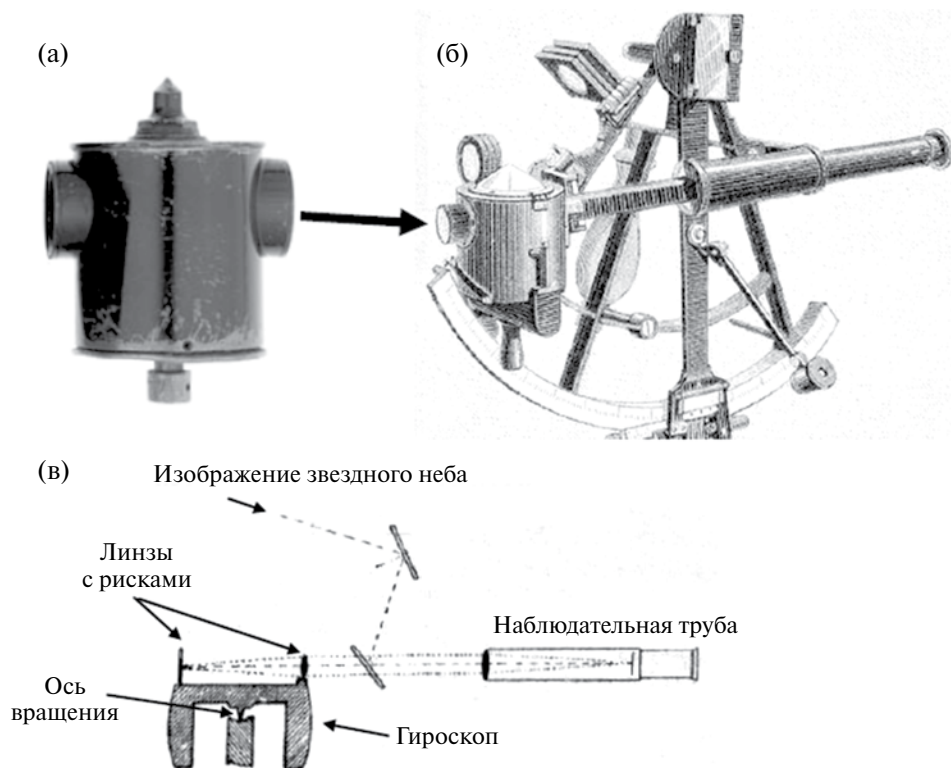


Рис. 1. Коллиматор Флэрие: а) внешний вид (коллекция Национального морского музея в Лондоне, <http://collections.rmg.co.uk/collections/objects/252798.html>); б) секстант с коллиматором (виртуальный музей Эдиксон, http://www.edixxon.com/poyet/02_images/28/49498.html); в) схема работы (Koehler. Geodäsie auf der Weltausstellung zu Brüssel...)

времени в деле определения горизонта моряками, заимствовать у них гироскопические приборы не удавалось: для первых аэропланов они были чересчур громоздкими, тяжелыми и энергоемкими, кроме того, они должны были работать совсем в других условиях и в гораздо более широком диапазоне углов. Поэтому конструкторам авиационных приборов пришлось идти своим путем.

Вторая причина заключалась в условиях полетов. Их всегда проводили в ясную погоду, при хорошей видимости, так что особой надобности в приборах не было. В воздух поднимались для того, чтобы насладиться самим полетом, в спортивных целях или для публичных показов. Полет еще не стал повседневной работой, которую необходимо выполнять в любое время суток и в любую погоду.

Имелась и третья, чисто психологическая причина. На заре авиации сформировался образ летчика-небожителя, человека, который поднимается в небо благодаря личному мужеству и особым талантам. Вот что писал об этом один из современников (сам, между прочим, летчик):

Оборудование самолетов до 1914 г. отличалось почти полным отсутствием аппаратуры как служащей для наблюдения за работой мотора, так и аэронавигационной. Это вытекало из целого ряда причин, из которых главной была общая нелюбовь летчиков к приборам. Летчик любит чувствовать, что в деле управления самолетом он является артистом и что в этом искусстве его естественные рефлексы являются гораздо более надежными помощниками, чем какие бы то ни было приборы. Естественным результатом этой психологии был самолет с очень небольшим числом приборов¹³.

Подкрепляло такое мнение и несовершенство первых приборов. На них действительно нельзя было целиком полагаться.

Сложившийся стереотип продержался очень долго. Даже в середине 1920-х гг., когда аэропланы уже стали неотъемлемой частью войны и мира, один из опытных летчиков, поучая своих юных коллег, писал следующее:

Летчик должен уметь слушать свой мотор; счетчик оборотов должен лишь подтверждать ему то, что он определил по слуху [...] Само собой разумеется, что летчик должен напрактиковаться оценивать приблизительно высоту полета на глаз, за исключением полета ночью, он не должен верить альтиметру, который часто запаздывает в своих показаниях [...] Указатель скорости не может, конечно, заменить ощущения самолета и всех других признаков, не учитываемых никакими приборами, которые всякому летчику должны говорить о том, что может допустить и вынести его самолет при маневрировании им и чего самолет допустить не может¹⁴.

В то время уже появились результаты исследований, показавших, что в условиях слепого полета летчику удастся поддерживать правильное представление о пространственном положении самолета максимум восемь минут¹⁵. Но распространения и признания эти сведения не получили.

По указанным причинам задача определения горизонта в авиации была поставлена и начала решаться лишь во втором десятилетии ее существования. Отношение к приборам со стороны летчиков и военного командования стало меняться во время Первой мировой войны. Аэропланы оказались эффективным видом вооружения. Но их эффективность становилась еще выше, если они могли летать вне видимости земли. Бомбардировщикам нужно было скрытно добираться до цели, а значит, уметь летать ночью. Чтобы быть недосягаемыми для огня с земли, им желательно было лететь на большой высоте, а следовательно, над облаками. В обоих случаях визуальная ориентировка была невозможна, и для слепого полета требовались приборы. Истребителям же нужно было уметь сбивать такие хитрые бомбардировщики, а для этого летать в тех же условиях и иметь на борту те же приборы. И такие приборы появились. Ну а до того времени единственными приборами ИПП, которые использовали для выдерживания горизонтального полета,

¹³ *Окер В., Крейн К.* Теория и практика слепого полета. М.: Воениздат, 1933. С. 14.

¹⁴ Техника авиации / Ред. С. Г. Хорьков. М.: Авиаиздательство, 1927. С. 127–130.

¹⁵ *Coombs, L. F. E.* Fighting Cockpits 1914–2000. Design and Development of Military Aircraft Cockpits. Shrewsbury: Airline Publishing, 1999.

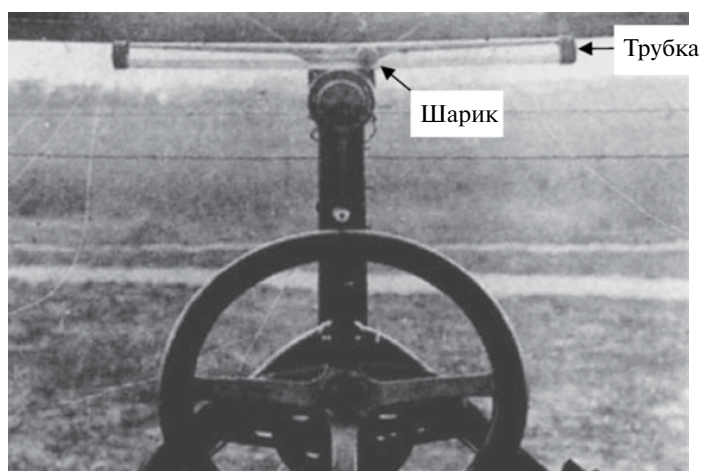


Рис. 2. Уклономер Сикорского в кабине «Ильи Муромца» (Хайруллин М. А. «Илья Муромец». Гордость русской авиации. М.: Эксмо, 2010)

были уклономеры (их также называли инклинометрами, креномерами или балансирами).

В простейшем уклономере указателем служил пузырек воздуха или металлический шарик, помещенный в изогнутую трубку. Трубку заполняли вязкой жидкостью, которая демпфировала колебания. Поверх трубки или рядом наносили риски шкалы. На рис. 2 показан пример шарикового уклономера, установленного конструктором И. И. Сикорским в кабине самолета «Илья Муромец» (1913).

Как известно, угловое положение ВС относительно горизонта характеризуют двумя углами: углом тангажа в продольной плоскости ВС и углом крена в поперечной. Для индикации угла крена трубку располагали в кабине горизонтально и перпендикулярно строительной оси ВС, а для индикации угла тангажа — параллельно оси. Под действием силы тяжести пузырек / шарик в горизонтальном полете находился в среднем положении, а при наклоне ВС смещался в сторону, показывая направление и величину наклона.

Получили распространение жидкостные уклономеры: в них жидкость применялась не для демпфирования, а сама являлась указателем — как в термометре. Для этого ее подкрашивали в темный цвет и помещали в U-образную трубку. При кренах жидкость под действием силы тяжести отливала от нейтрального положения.

Для индикации тангажа трубку сгибали в треугольный контур, заполняли до половины жидкостью и одну сторону треугольника располагали вертикально. При пикировании жидкость поднималась вверх, при кабрировании — опускалась вниз. Появились и комплексные уклономеры, имеющие две трубки и показывающие как крен, так и тангаж, например, прибор компании «Мессершмидт» (*Messerschmidt Jr. Grossenhain*, 1918, рис. 3).

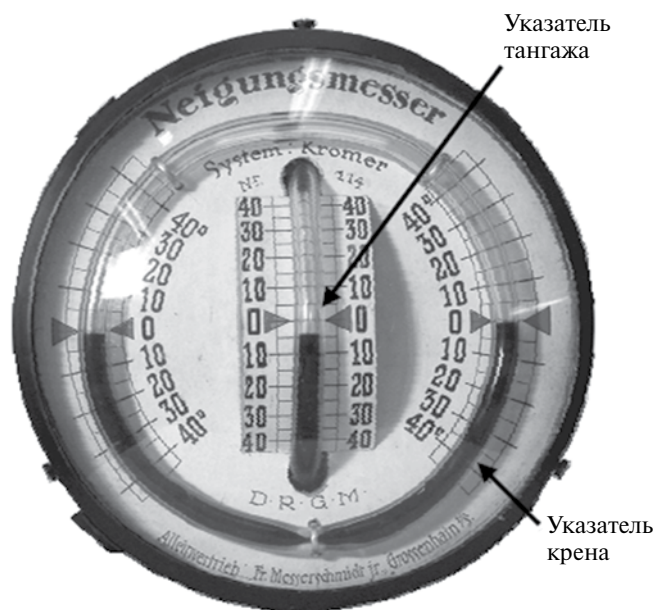


Рис. 3. Жидкостный уклономер (виртуальный музей Немецких воздушных сил, <http://www.deutscheluftwaffe.de/instrumente/katalog%201WK/Horizonte/neigungsmesser.htm>)

Выпускались жидкостные уклономеры и другого типа: у них стеклянный диск до половины заливался темной жидкостью. При крене корпуса диск поворачивался, а жидкость стекала вниз, обнажая белую заднюю стенку с нанесенной на нее шкалой. На рис. 4 показан такой прибор, выпускавшийся компанией «Гёрец» (Goerz AG, 1916).

Применяли также уклономеры маятникового типа, в которых под действием силы тяжести грузик отклонялся от оси прибора и служил указателем.

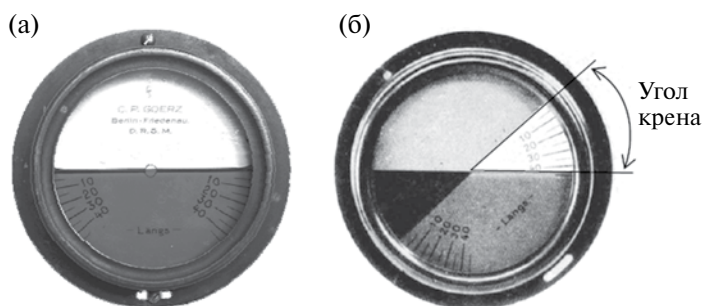


Рис. 4. Дискосый уклономер: а) при горизонтальном положении ВС; б) при левом крене (виртуальный музей Немецких воздушных сил, <http://www.deutscheluftwaffe.de/instrumente/katalog%201WK/Horizonte/neigungsmesser.htm>)

Уклонометры были простыми, но ненадежными приборами. В полете на них действует не только сила гравитации, но и другие силы, поэтому, например, на вираже уклонометр вместо вертикали показывает составляющую вертикали и центробежной силы. Даже при прямолинейном полете вследствие турбулентности воздуха и других случайных возмущений ВС совершает колебания, которые вызывают, в свою очередь, непрерывное колебание маятника, шарика или жидкости в уклонометре, что затрудняет считывание показаний.

Нужно было приспособить для авиации гироскопы. Построить на их основе гиросtabilизатор ВС удалось в 1912 г. Лоуренсу и Элмеру Сперри¹⁶. А в 1914–1917 гг. во Франции и Германии были созданы первые гироскопические авиационные приборы. Но это были еще не авиагоризонты (АГ): они использовали гироскопический эффект, однако иначе или для другой цели.

Первыми такими приборами стали волчки. Самый известный, волчок Гарнье (*Garnier*, рис. 5), выпускался одноименной французской компанией с 1914 г.¹⁷ и использовался при полетах в облаках и ночью. Во время Первой мировой войны волчки Гарнье применяли в том числе на российских аэропланах¹⁸.

Принцип действия прибора следующий. Ротор гироскопа вращается вокруг вертикальной оси наподобие юлы. Ось вращения ротора упирается одним концом в подпятник, а второй, верхний, конец оси служит указателем. Центр тяжести ротора лежит несколько ниже точки опоры. Благодаря этому, если ось ротора будет отклонена от вертикального положения, сила тяготения стремится вернуть его обратно. Волчок действует как маятник с очень большим периодом колебаний. Ротор приводится во вращение потоком воздуха, ударяющимся о нанесенные на ротор насечки (рис. 5, б). Забор воздуха из окружающей среды производится с помощью трубки Вентури, расположенной в струе от пропеллера.

Гироскоп установлен в металлический корпус со стеклянной полусферической крышкой (рис. 5, а). Если полет проходит горизонтально, то верхний конец оси ротора указывает в центр крышки. Когда же ВС, а с ним и корпус прибора, наклоняется, то гироскоп стремится сохранить прежнее направление и не наклоняется вместе с прибором (рис. 5, в). Ось в этом случае не совсем неподвижна: под действием прецессии она описывает конус возле действительной вертикали, но размах движения невелик и позволяет по

¹⁶ Элмер Амброуз Сперри (*Elmer Ambrose Sperry*, 1860–1930) – разносторонний американский изобретатель и предприниматель. Организатор и руководителем компании «Сперри» (*Sperry Gyroscope Co.*). Лоуренс Бест Сперри (*Lawrence Burst Sperry*, 1892–1923) – американский летчик, пионер авиации, изобретатель. Сын Элмера Сперри, работал в компании «Сперри». Создал первый авиагоризонт (1928). См.: Основы теории автоматического пилотирования и автопилоты / Ред. Г. И. Шипанов. М.: Оборонгиз, 1939.

¹⁷ См.: *Franklin, W. S., Stillman, M. H. Inclometers and Banking Indicators // Aeronautic Instruments. Section IV. Direction Instruments. Report No. 128. Washington: Government Printing Office, 1925. P. 3–17.*

¹⁸ Дузь. История воздухоплавания и авиации в России...

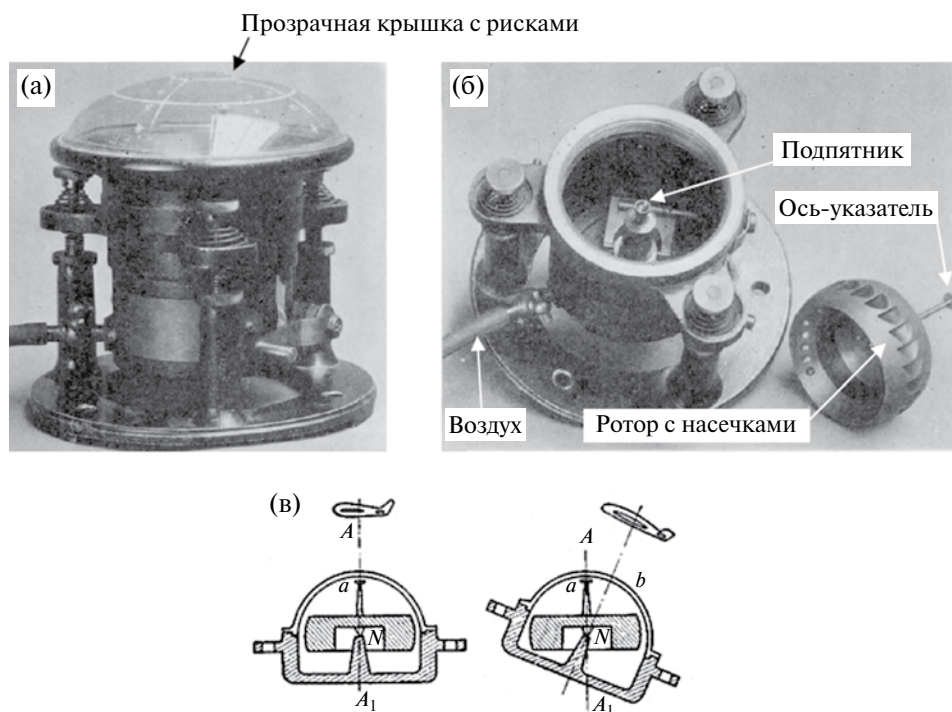


Рис. 5. Волчок Гарнье: а) внешний вид; б) конструкция; в) схема работы (Franklin, Stillman. *Inclinometers and Banking Indicators...*)

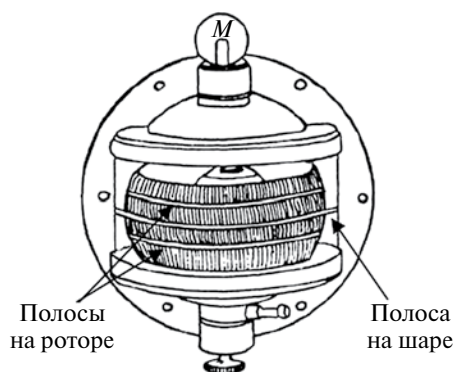


Рис. 6. Гирискон Бонно (Ferry. *Applied Gyrodynamics for Students...*)

смещению ее от центра крышки определить направление и величину углов крена и тангажа. Для отсчета углов на крышке нанесены концентрические кольца. Чтобы прибором можно было пользоваться ночью, на указывающий торец оси ротора нанесена фосфоресцирующая краска.

Очень похожий волчок производила другая французская компания — «Эбрар» (Hebrard). В этой конструкции привод гироскопа был не пневматическим, а механическим — прямо от пропеллера¹⁹.

Несколько другую конструкцию имел волчок еще одной французской компании — «гирискон Бонно» (Bonneau). Ротор помещался в центр стеклянного шара (рис. 6). На боковую стенку ротора и на шар по всей окружности

¹⁹ Franklin, Stillman. *Inclinometers...*

наносились горизонтальные полосы. Когда шар вместе с ВС наклонялся, а ротор продолжал поддерживать вертикальное направление, полосы на роторе и на шаре становились не параллельны. В другой модели этого конструктора коаксиально с осью ротора пускался световой луч, а на верхнюю часть сферы наносились концентрические круги как в волчке Гарнье. Отклонение светового пятна от центра сферы соответствовало отклонению ВС от горизонта²⁰.

Американская компания «Сперри» (*Sperry*) разработала свой вариант волчка — «клинометр». Во время Первой мировой войны эти приборы устанавливали на бомбардировщики «Либерти» (*Liberty DH-4*). Модификацию волчка «Сперри» выпускала в Англии компания «Ройал эркрафт эстеблишмент» (*Royal Aircraft Establishment*)²¹.

Волчки значительно меньше уклономеров реагировали на ускорения и колебания ВС, поэтому их показания были довольно близки к истинной вертикали. Однако они имели ограничения: после продолжительных поворотов прибор давал неверные показания, а при слишком крутом вираже ротор задевал за стенку, после чего прибор переставал работать.

Еще одним переходным прибором был созданный в 1917 г. «Штойерцайгер» (*Steuerzeiger*) — указатель управления (рис. 7). Он устанавливался на бомбардировщики «Гота» (*Gotha*) и «Штаакен» (*Staaken*) военно-воздушных сил Германии. Сконструировал прибор Ф. Дрекслер²², а выпускала его немецкая компания «Машиненфабрик Аугсбург-Нюрнберг АГ» (*Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG*).

Лицевая часть указателя (рис. 7, а) напоминает изображение АГ: неподвижный символ аэроплана, поворачивающаяся белая планка, символизирующая линию горизонта, стрелка указателя крена. На самом деле это еще не АГ, хотя гироскоп внутри имеется. Гироскоп чувствителен к повороту вокруг вертикальной оси ЛА и служит указателем поворота²³, а направление и скорость поворота показывается стрелкой на нижней шкале. Ротор гироскопа раскручивается электродвигателем, который запитывается от автономного генератора, вал которого, в свою очередь, раскручивает выставленная за борт крыльчатка.

А вот углы крена и тангажа показывают обычные уклономеры. Индикация крена выполняется наклоном белой планки, изображающей линию

²⁰ *Ferry, E. S. Applied Gyrodynamics for Students, Engineers and Users of Gyroscopic Apparatus. New York: John Wiley & Sons, 1933. P. 76–77.*

²¹ *Lawson, E., Lawson, J. The First Air Campaign: August 1914 – November 1918. Boston: Da Capo Press, 2007. P. 106; Franklin, Stillman. Inclimeters... P. 3–17.*

²² Франц Дрекслер (*Franz Drexler*) — немецкий инженер, изобретатель, основатель компании «Крайзельбау» (*Kreiselbau GmbH*).

²³ По-видимому, это был первый серийный гироскопический указатель поворота. Образец 1917 года компании «Сперри» оказался неудачным, а его доводка заняла два года и только в 1919 г. компания «Пионер» начала выпуск прибора (см.: *Conway, E. Blind Landings: Low-Visibility Operations in American Aviation, 1918–1958. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2008*).

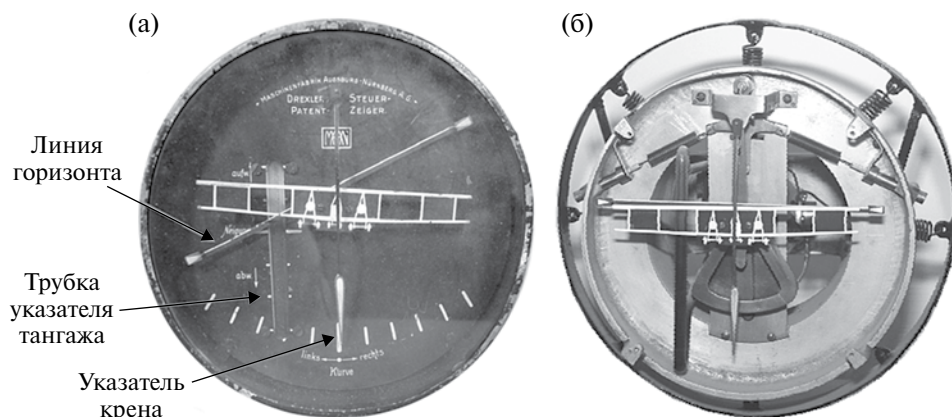


Рис. 7. Указатель управления Дрекслера: а) лицевая часть (Connor, R. D. *Historical Perspectives on Avionics Innovation // Proceedings of 2012 IEEE/AIAA 31st Digital Avionics Systems Conference. IEEE, 2012*); б) конструкция (виртуальный музей Немецких воздушных сил, <http://www.deutscheluftwaffe.de/instrumente/katalog%201WK/Horizonte/neigungsmesser.htm>)

горизонта. Ею управляет уклономер маятникового типа, а тангаж индицируется уклономером жидкостного типа: его вертикальная трубочка расположена в левой половине прибора. Красная жидкость изображает то, что у АГ называется фоном «земля», а пустая трубочка — фон «небо». Таким образом, при внешнем сходстве с АГ и при наличии внутри гироскопа этот прибор все еще обладает недостатками уклономеров.

Как известно, угловое положение ВС в пространстве может быть показано с разных ракурсов: с позиции внешнего наблюдателя и с позиции летчика. С позиции находящегося на земле наблюдателя мир неподвижен, а в небе вращается ВС. Этот вид индикации называется «вид с земли» (ВсЗ, англ. *outside-in*). С позиции летчика при изменении углового положения ВС внешний мир движется относительно неподвижного для летчика переплета окна. Этот вид индикации называется «вид с воздушного судна» (ВсВС, англ. *inside-out*). В данном приборе используется ВсВС.

Почти одновременно с волчками появились и полноценные гироскопические приборы, а среди них — указатели крена и тангажа. Но это не были еще авиагоризонты: они могли измерить и показать либо угол крена, либо угол тангажа, но не оба сразу.

Первым среди них был указатель крена «Горизонт» (*Anschütz Horizont*) компании «Аншюц» (*Anschütz und Co.*, 1916). Он устроен следующим образом²⁴: гироскоп с двумя степенями свободы приводился во вращение электромотором, запитываемым от отдельного генератора переменного тока. Ось ротора располагалась вертикально. На стекле прибора изображены черным цветом отсчетная линия углов крена и символ аэроплана

²⁴ *Brombacher, W. G. Present Status of Aircraft Instruments. Report No. 371. NACA, 1930.*

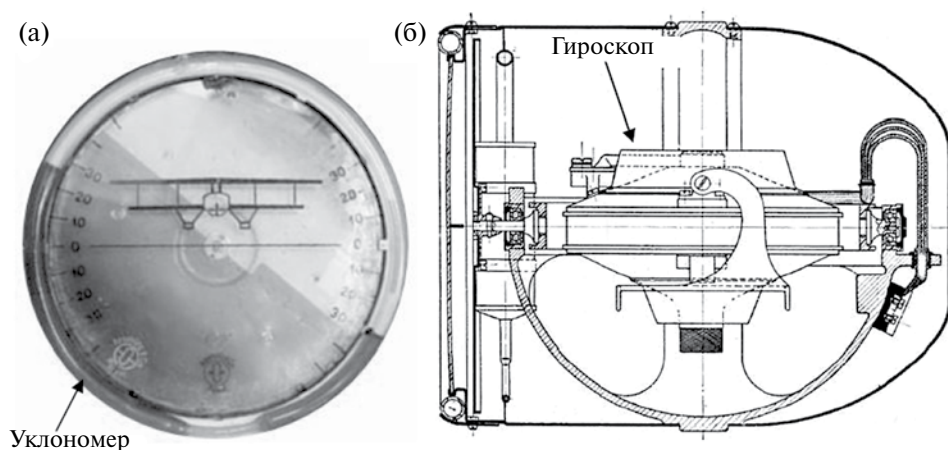


Рис. 8. Горизонт «Аншюц» образца 1916 г.: а) лицевая часть (Göttingen Collection of Mathematical Models and Instruments, <http://modelcollection.uni-goettingen.de/index.php?r=4&sr=13&m=661&lang=e>); б) конструкция (Bennewitz, K. Flugzeug Instrumente. Berlin: Richard Carl Schmidt & Co., 1922. P. 144)

над ней (рис. 8, а). За стеклом находится вращающаяся лицевая панель, поделенная на две половины: «небо» желтого цвета и «земля» зеленого цвета. Их разделяет широкая коричневая линия горизонта, а по бокам располагаются две одинаковые шкалы углов крена. Лицевая панель поворачивается гироскопом соответственно углу крена относительно неподвижных отсчетной линии и аэроплана, при этом концы линии показывают величину крена на шкалах.

Вид индикации — ВсВс (мир вращается вокруг ВС, а отсчетная линия неподвижна). Впоследствии такой вид ИПП — вращающийся фон «небо»/«земля» и неподвижный отсчетный символ — стал традиционным. Можно констатировать, что принятый в большинстве АГ вид индикации ВсВс и элементы его изображения (неподвижное изображение самолета, неподвижный отсчетный символ в центре экрана, вращающийся двухцветный фон «небо»/«земля», разделенный линией горизонта) появились в приборах Дрекслера и «Аншюц» задолго до первого АГ. Впоследствии компания «Аншюц» отказалась от изображения фона «неба» и «земли» в своих указателях.

Кроме гироскопического гироскопа прибор имел и жидкостный уклономер (видимо, гироскопам не очень доверяли). Он выполнен в виде стеклянной трубки, закрученной вокруг лицевой панели и наполовину заполненной подкрашенной жидкостью (рис. 8, а). В горизонтальном полете уровень жидкости, линия горизонта и отсчетная линия должны совпадать.

Показания этого указателя были довольно точны, но он не получил широкого распространения из-за высокой стоимости и хрупкости²⁵.

Другой гироскоп того времени — гироскоп (1923)²⁶. Его сконструировал и запатентовал Теодор Розенбаум²⁷, а производила немецкая компания «Гироскоп» (*Gyrorektor GmbH*). Прибор подвешен в своеобразных качелях и сам работает как маятник (рис. 9, а). Ротор гироскопа раскручивался электродвигателем. Гироскоп комплектовался собственным электрогенератором и крыльчаткой, которая выставлялась во внешний воздушный поток и раскручивала ротор электродвигателя, а тот — ротор гироскопа.

На лицевой панели (рис. 9, б) находится полукруговая шкала крена (поз. 3). Гироскоп подвешен в поворачивающейся на вертикальной оси рамке и связан со стрелкой указателя угла крена (поз. 1) и линией горизонта (поз. 2). Оба эти элемента поворачиваются соответственно величине крена, при этом угол крена индицируется двояко: количественно на шкале и качественно в виде углового расхождения между линией горизонта (поз. 2) и неподвижной планкой (поз. 4), которая как бы изображает горизонтальную ось ВС. Такое двоякое представление крена использовалось и в указателе Дрекслера. Для АГ оно позже станет стандартным.

Вид индикации неоднозначен: для линии горизонта это ВсВС (горизонт вращается), а вот для указателя крена на шкале вид индикации ВсЗ, так как здесь движется отсчетный индекс, а именно он символизирует ВС. Такой смешанный вид индикации тоже стал впоследствии популярным.

Как и в случае прибора компании «Аншюц», одного гироскопа конструктору показалось мало, присутствует и уклономер. Здесь он маятникового типа, его стрелка (поз. 5) свисает с центральной оси прибора и показывает величину крена по той же шкале (поз. 3). Линия горизонта, указатели и метки шкалы покрыты флуоресцентной краской, благодаря этому они различимы в темноте.

Прибор побывал в эксплуатации. Немецкая авиакомпания «Люфтваффе» с 1925 г. использовала гироскопы на своих пассажирских самолетах «Юнкерс» и «Дорнье», испытывались они и военными летчиками Люфтваффе²⁸. К гироскопу также проявили интерес американские военные, которые в 1926 г. закупили и облетали один прибор. Это подняло интерес к теме в США и, вероятно, поспособствовало появлению заказа, завершившегося созданием АГ в компании «Сперри»²⁹.

Существовали гироскопические указатели не только крена, но и тангажа. Оригинальный прибор, «девиатор», изобрел в 1930 г. в Англии Д. Поллок Браун

²⁵ Фридлендер Г. О., Майоров С. А. Мембранные аэронавигационно-пилотажные приборы. М.: Изд-во ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1947.

²⁶ Патент США № 1642087 «Direction Indicator for Moving Bodies». Дата приоритета (по немецкому патенту) — 1923 г.

²⁷ Теодор Розенбаум (*Theodor Rosenbaum*) — немецкий ученый, изобретатель, сотрудник компании «Гироскоп».

²⁸ Баур Г. Личный пилот Гитлера. Воспоминания обергруппенфюрера СС. 1939—1945. М.: Центрполиграф, 2006.

²⁹ Conway. Blind Landings...

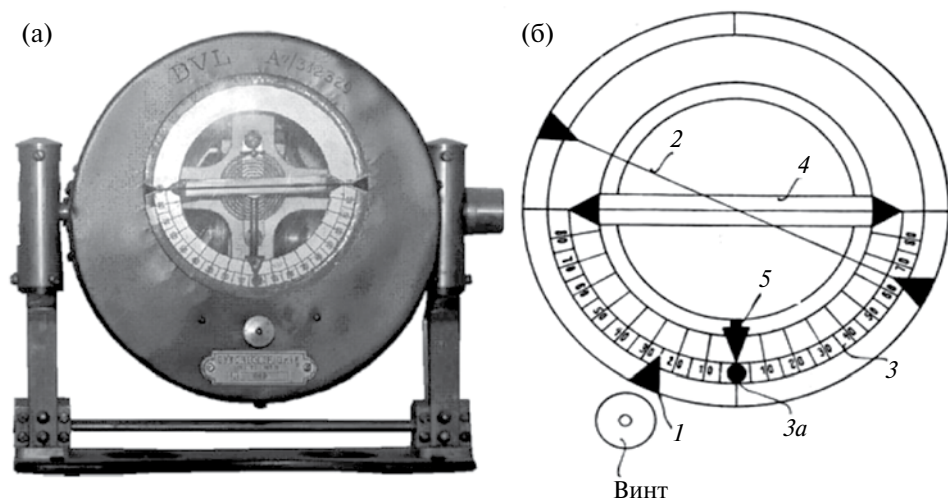


Рис. 9. Гироректор: а) внешний вид (виртуальный музей Немецких воздушных сил, <http://www.deutschlufwaffe.de/instrumente/katalog%20IWK/Horizonte/horizonte.htm>); б) элементы лицевой панели: 1 — указатель крена, 2 — линия горизонта, 3 — шкала, 4 — линия крыла, 5 — маятник (каталог компании «Гироректор», <http://www.deutschlufwaffe.de/archiv/Dokumente/ABC/g/Gereate/Gyrorector/Gyrorector.pdf>)

(John Pollock Brown, рис. 10)³⁰. Гироскоп *A* подвешен в кольце *B*, которое в двух точках крепится к кольцу *C*, закрепленному, в свою очередь, в двух точках во внешней раме. Таким образом, гироскоп может поворачиваться вокруг всех трех осей. Вокруг одной оси он приводится во вращение электромотором, а поворот вокруг двух других соответствует углам тангажа и рыскания.

Указателем служит ось гироскопа *E*. Ее торец виден летчику в круглом окошке прибора. На этот торец нанесена светящаяся масса, чтобы прибором можно было пользоваться в темноте. Отклонение оси от центра окна показывает летчику отклонение от заданного курса и горизонта. В центре окна на стекло нанесен черный кружок.

В приборе есть механизм, который принудительно ликвидирует отклонение гироскопа, заставляя его возвращаться обратно в нейтральную позицию со скоростью $0,037^\circ/\text{с}$. Это электромагнит *H*, прикрепленный к задней стенке. Он притягивает медный диск *G* на оси гироскопа.

Задача летчика — удерживать ось за черным кружком, тогда самолет будет лететь прямо и горизонтально. Если ось появляется из-за кружка, нужно, управляя ВС, загнать ее обратно. Если нужно подниматься или спускаться под заданным углом тангажа, летчик ручкой *J* поворачивает раму гироскопа на нужное число делений (зубцы на правой стороне корпуса прибора на рис. 10, а), каждое деление соответствует 2° . Тогда положение оси в центре

³⁰ Для выпуска девиатора Поллак Браун в 1930 г. основал компанию «Пи. Би. Девиэйтор» (*P. B. Deviator*).

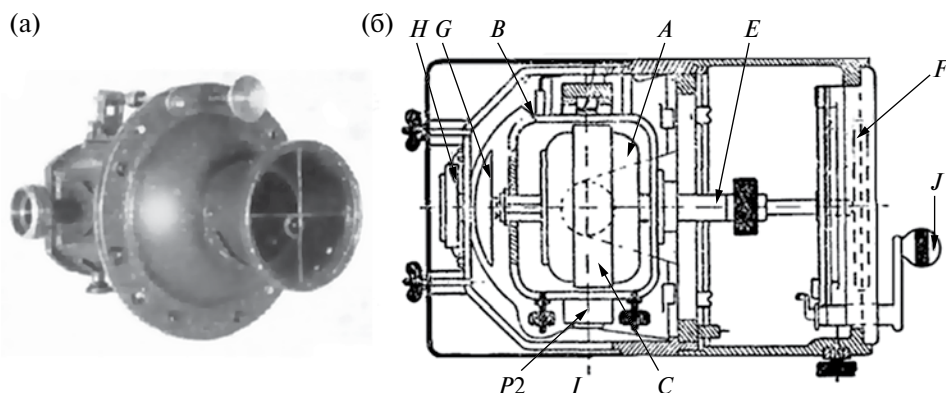


Рис. 10. Указатель продольного крена и азимута: а) внешний вид (P. B. Deviators. A Neat Type of Instrument Showing Deviation from Set Course in All Directions // *Flight*. February 27, 1931. P. 180); б) конструкция (Окер, Крейн. Теория и практика слепого полета... С. 44–45)

за черным кружком будет соответствовать уже не горизонтальному полету, а заданному углу тангажа. Задача — по-прежнему удерживать ось там.

В 1920-е г. были созданы все типы гироскопических авиационных приборов: указатели поворота, гиropolукомпасы, гиромагнитные компасы, гиравертикали и, наконец, авиагоризонт. Но указатели крена / тангажа не исчезли сразу и одно время выпускались параллельно с авиагоризонтами (видимо, потому, что повторить АГ не удавалось). Так, например, уже в 1930-х гг. компания «Аскания верке» (*Askania Werke AG*) выпускала «гироскопический инклинометр» (*Kreisel-Längsneigungsmesser*) — указатель тангажа.

В России гироскопический авиаприбор, «ортоскоп», создал П. П. Шиловский. На самолете «Илья Муромец» опытный экземпляр успешно отлетал в 1917 г.³¹ К сожалению, наступившая революция и последовавшие за ней события не позволили завершить работу.

Одним из тех, кто пытался в 1910-х гг. создать свой вариант гироскопического авиагоризонта, был Элмер Сперри, но повторить успехи немецких коллег у него не получилось. Во время Первой мировой войны он даже заключил контракт на создание такого прибора для морской авиации США, но это ему сделать тогда не удалось, а с окончанием войны моряки разорвали контракт³².

Второй шанс у компании «Сперри» появился несколько лет спустя. Фонд Гуггенхайма начал финансировать проект создания оборудования для слепого полета. Набрали команду профессионалов, пригласили

³¹ Петр Петрович Шиловский (1871–?) — дворянин, государственный деятель, изобретатель. В 1909 г. запатентовал гироскопический стабилизатор. Автор ряда оригинальных изобретений на основе гироскопа. В Советской России дела себе не нашел и в 1922 г. эмигрировал за границу, где работал в английском отделении компании «Сперри». См.: Калихман Д. М. Забытые имена: две судьбы в разломе русской революции // *Новости навигации*. 2009. № 4. С. 47–52; Черненко Г. Изобретатель «гирикара» // *Изобретатель и рационализатор*. 1994. № 1. С. 28–29.

³² Conway. Blind Landings...

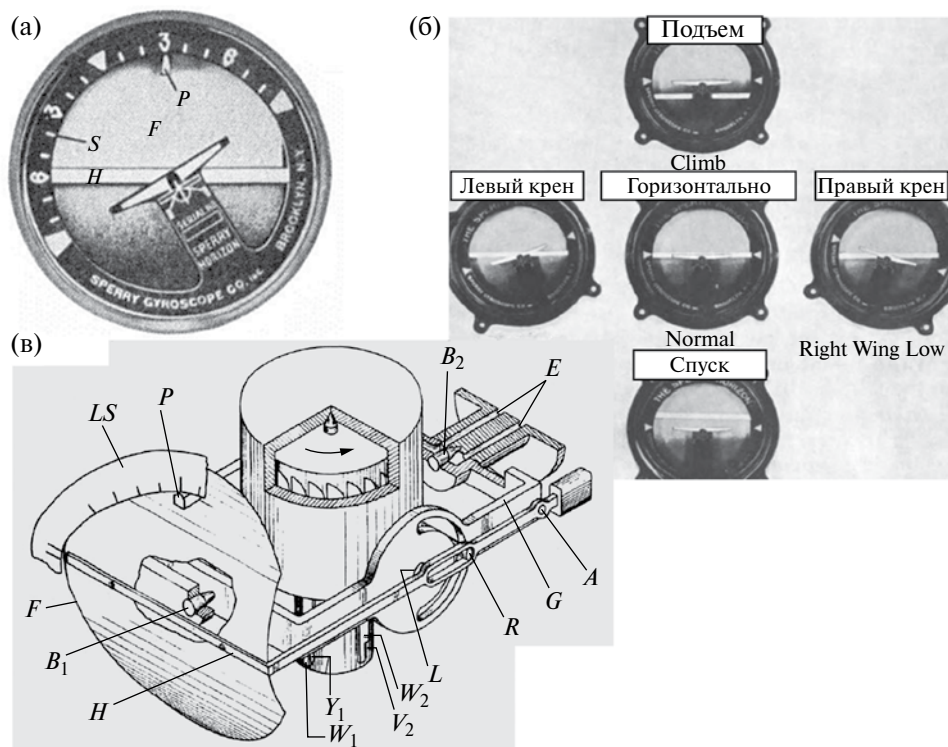


Рис. 11. Авиагоризонт «Сперри»: а) лицевая панель (Ferry. *Applied Gyrodynamics...*); б) вид изображения (Equipment Used in Experiments...); в) конструкция (Brombacher, W. G., Trent, W. C. *Gyroscopic Instruments for Instrument Flying* // National Bureau of Standards Technical Notes No. 662. NACA, 1938)

и летчика — Дж. Дулитла³³. Изучили горизонт «Аншюц» и гироректор, признали их слишком тяжелыми, к тому же в некоторых ситуациях они вообще переставали работать. Тогда Дулитл обратился за помощью к Сперри. Тот подключил к работе сына Лоуренса Сперри, которому в 1928 г. удалось создать первый АГ. Он показывал летчику одновременно и угол крена, и угол тангажа.

Устройство этого прибора следующее (рис. 11)³⁴. Ось вращения ротора вертикальна. Ротор в цилиндрической камере вращает подаваемый через трубку Вентури наружный воздух, попадающий в корпус прибора через каналы *E*. Воздух отводится из камеры через четыре равномерно разнесенных окошка *V*. Они наполовину закрыты заслонками, прикрепленными к корпусу прибора. Когда

³³ Джеймс Гарольд Дулитл (James Harold Doolittle, 1896–1993) — американский летчик, служил в ВВС в 1917–1930 гг., вернулся на военную службу во время Второй мировой войны. Генерал-майор, герой США.

³⁴ Equipment Used in Experiments to Solve the Problem of Fog Flying. New York: The Paniel Guggenheim Fund for the Promotion of Aeronautics, 1930; Ferry. *Applied Gyrodynamics...*; Previc, F. H., Ercoline, W. R. *Spatial Disorientation in Aviation*. Reston: AIAA, 2004. P. 10–13.

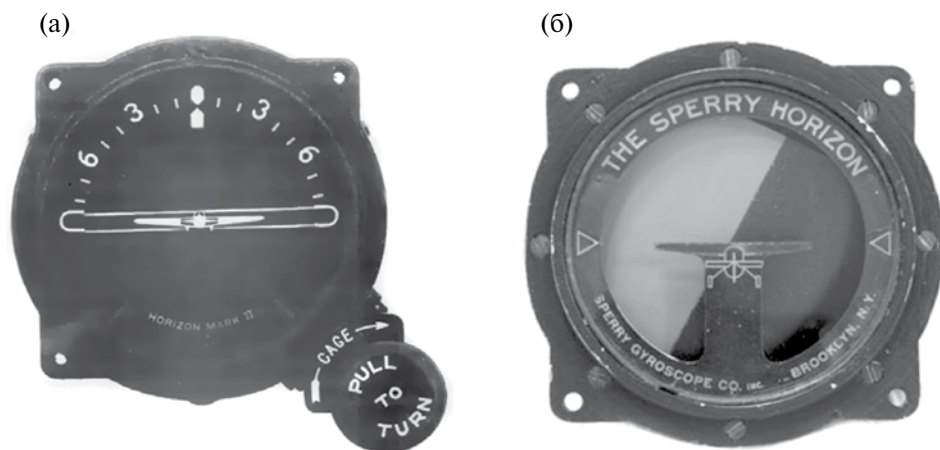


Рис. 12. Варианты авиагоризонта «Сперри»: а) с планкой горизонта, но без фона «небо» / «земля»; б) с видом индикации ВсВС, фоном «небо» / «земля», без планки

ВС и с ним прибор наклоняется, то заслонки W , действующие как маятники, смещаются из среднего положения: одни открываются шире, другие, наоборот, закрываются. В результате получается направленный поток воздуха, воздействующий на ротор и вызывающий его прецессию в положение вертикали, причем без характерных для гиromаятников колебаний.

Лицевая панель прибора F поделена пополам, верхняя голубая часть изображает небо, нижняя темно-серая — землю. Линия горизонта изображается белой планкой H . В центре находится символ самолета (вид сзади). Он закреплен на оси карданова подвеса в точке B_1 .

Гироскоп может поворачиваться в опорах B_1 и B_2 , а вместе с корпусом гироскопа поворачивается и прикрепленный к нему самолетик, изображающий крен. Таким образом, для горизонта используется вид индикации ВсЗ: символ ВС поворачивается относительно линии горизонта.

Гироскоп также может поворачиваться по углу тангажа, при этом прикрепленная к его корпусу ось R заставляет планку H , изображающую горизонт, двигаться вокруг оси L вверх или вниз. Таким образом, для угла тангажа используется вид индикации ВсВС: отсчетный индекс-самолетик не движется, линия горизонта подвижна.

Что касается вида индикации крена на шкале LS , здесь тоже использован ВсВС: лицевая панель прибора с нанесенной на нее шкалой поворачивается вместе с ВС, в то время как гироскоп удерживает отсчетный индекс P вертикально. То есть индикация в приборе смешанная: крен на АГ — ВсЗ (самолет кренится), крен на шкале — ВсВС (индекс неподвижен, шкала кренится), тангаж на АГ — ВсВС (самолет не движется, а горизонт движется).

Впоследствии компания «Сперри» не раз меняла изображение: временно отказывалась от цветовой палитры «небо» / «земля» (рис. 12, а) и, главное, изменила вид индикации крена: самолетик в центре стал неподвижен, а крениться стала линия горизонта (рис. 12, б). То есть вид индикации стал чисто

ВсВС. Это изменение связывают с инициативой Д. Поппена³⁵, который активно выступал за то, чтобы изображение на АГ выглядело так, как если бы летчик смотрел на мир в некий перископ³⁶.

АГ «Сперри» быстро получил признание. Такой прибор ждали. В СССР уже в 1933 г. военные включили его в типовой набор оборудования, утвержденный Управлением ВВС, а во второй половине 1930-х гг. авиагоризонт вошел и в типовой набор оборудования пассажирских самолетов³⁷. Однако обязательным он считался только для больших самолетов: бомбардировщиков, пассажирских и транспортных³⁸.

В других странах тоже пытались создать такой АГ, но поначалу это ни у кого не получалось. Опытные образцы имели существенные недостатки. Поэтому в СССР купили у «Сперри» лицензию и в 1937 г. начали производство авиагоризонтов под индексом АГ-1³⁹. Так же поступили японцы, итальянцы, немцы: АГ по лицензии «Сперри» выпускали, соответственно, компании «Токио коку рейки» (*Tokyo Koku Reiki*), «Сальмойраги» (*Salmoiraghi*), «Бауарт» (*Bauart*). В Великобритании и Франции действовали отделения «Сперри». Поэтому во время Второй мировой войны на самолетах всех воюющих стран стояли АГ «Сперри» или их местные клоны. Впрочем, не только они: к тому времени появились и собственные разработки, например, в СССР на рубеже 1940-х г. были созданы оригинальные авиагоризонты АГП-1 и АГП-2⁴⁰.

Следует специально отметить: вопреки распространенным мнениям, что отечественная промышленность самостоятельно создала АГ, что сразу был принят вид индикации ВсЗ и лишь в 1970-х гг. с Запада «ввезли» ВсВС, ни то, ни другое не соответствует действительности. Выпускаемый по лицензии АГ «Сперри» и его усовершенствованные советскими инженерами варианты АГ-2 и АГ-3 унаследовали вид индикации, на который во второй половине 1930-х гг. перешла компания «Сперри» — ВсВС (рис. 13, а). Самолетик в центре лицевой панели неподвижен, а движается вверх — вниз и наклоняется планка линии горизонта.

А вот в приборах серии АГП индикация была сделана по принципу ВсЗ, причем как по крену, так и по тангажу (рис. 13, б)⁴¹. Планка горизонта, покрытая светящейся в темноте краской, наклонялась соответственно углу крена и ползала вверх — вниз соответственно углу тангажа, а вместе с ней перемещались прикрепленные к ней шкалы. По левой шкале отсчитывался

³⁵ Джон Поппен (*John R. Poppen*) — врач военно-морского флота США, капитан-лейтенант (*lieutenant commander*).

³⁶ *Johnson, S. L., Roscoe, S. N. Frequency-Separated Flight Displays // Technical Report QNR-70-2. Urbana — Champaign: University of Illinois, 1970. P. 4.*

³⁷ Сарайский Ю. Н., Алешков И. И. Аэронавигация. Ч. 1. Основы навигации и применение геотехнических средств. 2-е изд. СПб: Изд-во Университета гражданской авиации, 2013; Джорданов А. Полеты в облаках. М.: Воениздат, 1940.

³⁸ Спиринов И. Т. Навигация одиночного самолета. 2-е изд. М.: Воениздат, 1936.

³⁹ Хронология советской промышленности И. Родионова. 1946 г. // http://www2.warwick.ac.uk/fac_soc/economics/staff/mharrison/aviaprom/ver10/.

⁴⁰ Браславский Д. А., Логунов С. С. Авиационные приборы. М.: Оборонгиз, 1941. С. 202.

⁴¹ ГОСТ 2353-43. Приборы авиационные бортовые. Авиагоризонт пикирующий пневматический.

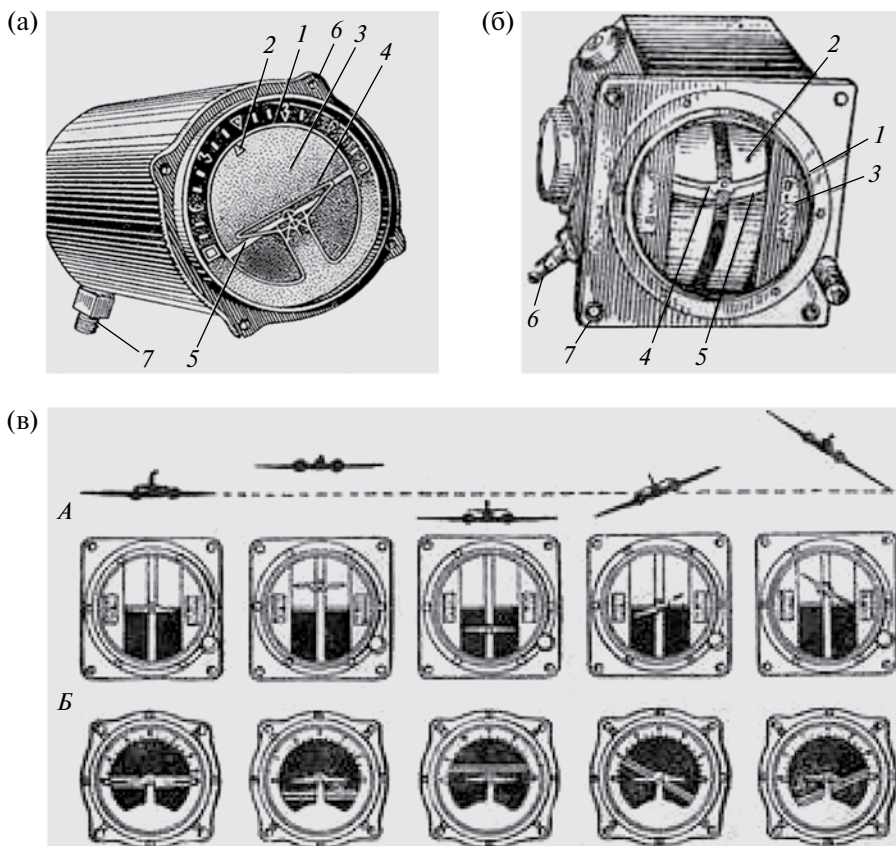


Рис. 13. Советские авиагоризонты: а) АГ-3; б) АГП-2 (Брандт В. В. *Авиационные приборы*. М.: Госвоениздат, 1938. Ч. 4 (*Гироскопические приборы*)); в) их виды индикации (Браславский Д. А., Логунов С. С. *Приборы на самолете*. М.: Оборонгиз, 1947)

угол тангажа, а правая служила для установки заданного угла тангажа. Это делалось с помощью ручки. Выставив нужный угол и выдерживая планку в центре экрана, летчик выполнял полет с нужным углом пикирования или кабрирования (отсюда и название: АГП — это «АвиаГоризонт Пикирующий»). Такие АГ нужны были прежде всего пикирующим бомбардировщикам, поэтому АГП-1 устанавливали на Пе-2, Ил-2, Ар-2 и др.⁴² Их использовали и на других типах самолетов, например, на По-2. Но на те же типы самолетов устанавливали и авиагоризонты серии АГ. То есть виду индикации большого значения не придавали, ставили то, что было в наличии.

Распространенность АГ «Сперри» в мире привела к тому, что вид индикации ВсВС стал впоследствии общепринятым. Вид индикации ВсЗ тоже встречался (рис. 14), но очень редко. Только в СССР для военных самолетов и вертолетов узаконили ВсЗ. Естественно, страны, которые покупали в СССР и в РФ

⁴² Хронология советской промышленности И. Родионова...

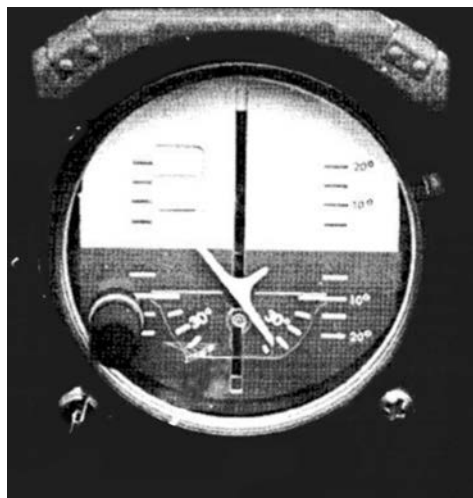


Рис. 14. Американский прибор с видом индикации ВсЗ (Hasbrook, H., Rasmussen, P. G. *In-Flight Performance of Civilian Pilots Using Moving-Aircraft and Moving-Horizon Attitude Indicators. Report No. FAA-AM-73-9. Oklahoma City: FAA Civil Aeromedical Institute, 1973*)

военную авиатехнику, получали с ней и такие авиагоризонты.

Однако в чистом виде (рис. 13, б; рис. 14) ВсЗ сейчас уже не встречается и в России: перешли на смешанную индикацию — ВсЗ по крену и ВсВС по тангажу. Символ ВС перестал реагировать на угол тангажа и только наклоняется соответственно углу крена, а вот линия горизонта вместе со шкалой тангажа движется вверх — вниз соответственно углу тангажа. Это вызвано тем, что, когда шкала тангажа неподвижна, ее размер ограничен высотой лицевой части АГ. При требуемой цене деления шкалы и обычных размерах прибора отведенного места недостаточно, чтобы показать весь диапазон углов тангажа.

Несмотря на разницу в виде индикации, само изображение АГ в подавляющем большинстве существующих приборов и электронных инди-

каторов унаследовало все основные черты приборов Дрекслера, «Аншюца» и «Сперри»: в центре символ ВС, служащий отсчетным индексом, сверху фон «небо», внизу — «земля», между ними — линия горизонта, на периферии шкала крена. Единственное, что добавилось впоследствии, — шкала тангажа. Было много и альтернативных предложений, но они остались на бумаге, а подавляющее большинство приборов и электронных индикаторов, созданных за прошедшие семьдесят с лишним лет, сохранило родовые черты ранних АГ типа «Сперри». Поэтому стоит упомянуть те немногочисленные приборы, которые имеют существенные отличия.

Были АГ с перевернутой индикацией неба и земли: фон «небо» снизу, «земля» — вверх (рис. 15). Соответственно, линия горизонта двигалась в противоположную сторону.

Появлялись АГ, в которых ИПП была более наглядной: символ ВС изображали не плоской, а объемной фигурой, повторяющей движения реального ВС (рис. 16). Несмотря на положительную оценку летчиками⁴³, такие приборы не получили распространения.

И, напротив, иногда вообще отказывались от наглядности в пользу обычной шкальной индикации. Немецкая компания «Сименс» (*Siemens LGW*) выпускала прибор, где АГ не было (рис. 17). У шкалы тангажа (на рис. 17 — справа) есть аналогия с движением ВС: индекс движется вверх — вниз, т. е.

⁴³ Акт № 154-60. Летные испытания указателя авиагоризонта УАГ-1 на самолете Ан-12 и УТИ МиГ-15 // http://www.airhorse.narod.ru/aviaprom/otchot/akt154_60/akt154_60.html.

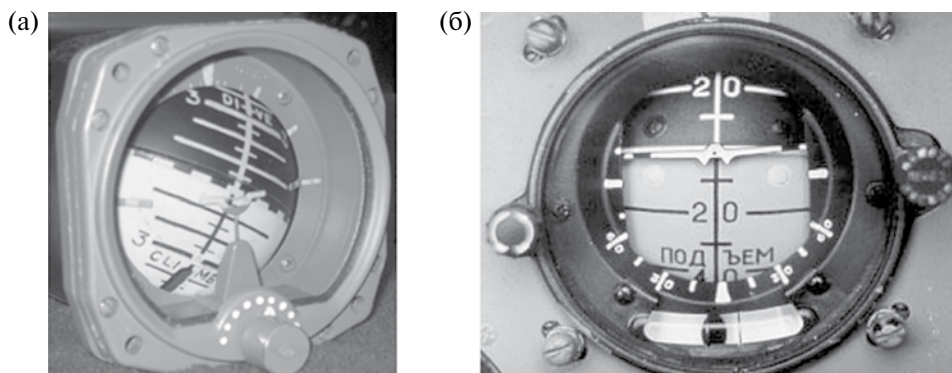


Рис. 15. Авиагоризонты с перевернутой индикацией: а) F-3 Attitude Gyro компании «Сперри» (1947); б) советский «Авиагоризонт истребителя» АГИ-1 (1953)

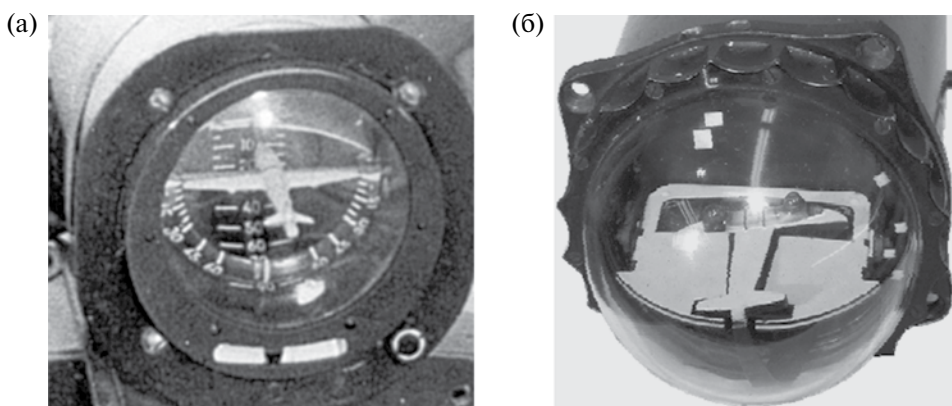


Рис. 16. Авиагоризонты с объемным символом ВС: а) советский «указатель авиагоризонта» УАГ-1 (1960); б) АГ компании «Аскания Верке» (около 1940 г.)

вид индикации ВСЗ. А для шкалы крена понятие «вид индикации» неприменимо, так как соответствие между левым / правым креном и движением стрелки вверх — вниз не прослеживается.

Стоит упомянуть еще один тип прибора, на котором крен и тангаж индицируются оригинальным образом. Это индикаторы бомбометания (*low altitude bombing system indicator*, рис. 18), которые использовались на британских и американских бомбардировщиках в 1950-х гг. Крен показывается стрелкой на полукруглой шкале, расположенной у верхнего края прибора, тангаж — стрелкой на полукруглой шкале, расположенной справа. Таким образом, стрелки совмещаются в крест, если отклонения по крену и тангажу нулевые. Если появляются отклонения, крест расходится, и это видно с первого взгляда.

Однако такой прибор не предназначен для ИПП. Углы, которые он показывает, это не измеренные значения крена и тангажа, а директорные команды по крену и тангажу. Прибор использовался для бомбометания «через

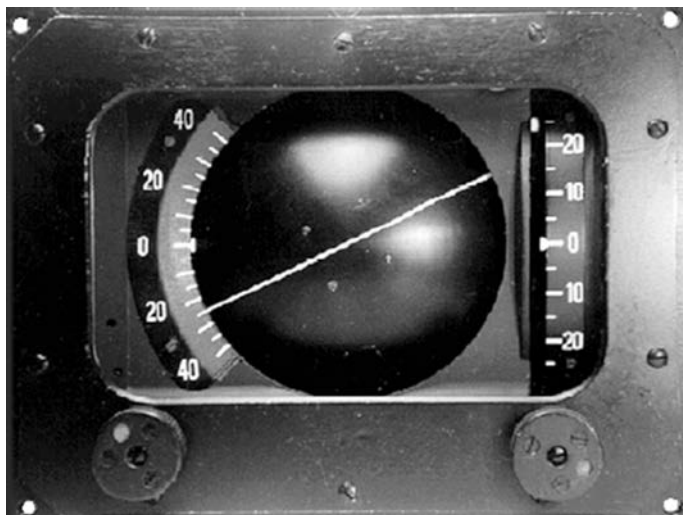


Рис. 17. Прибор компании «Сименс» (1944, виртуальный музей Немецких воздушных сил, <http://www.deutschlufwaffe.de/instrumente/katalog%201WK/Horizonte/horizonte.htm>)

плечо»: самолет делал в районе цели мертвую петлю, запуская бомбу вверх. Дальше она летела к цели по высокой баллистической траектории. Это позволяло увеличить дальность полета бомбы и не пролетать непосредственно над целью, избегая огня защищающей ее ПВО. Команды рассчитывала специальная прицельная система, а на индикаторе летчик видел, как управлять самолетом и в какой момент отпустить бомбу⁴⁴.

К 1930 г. количество приборов на самолетах и дирижаблях увеличилось, появилась необходимость оптимально расположить их в кабине. Ясно было, что основные пилотажные приборы нужно сгруппировать в самом выгодном месте кабины с точки зрения точности и скорости считывания показаний — в центре приборной доски, а лучше вообще на одном приборе. Такой комплексный пилотажный прибор (КПП) описан в технической энциклопедии того времени (рис. 19). Он объединял сразу пять приборов: вариометр, указатель скорости, уклономер для индикации угла тангажа, гироскопический указатель поворота и еще один уклономер для индикации угла крена⁴⁵. Авиагоризонта в нем еще нет: прибор построен на «элементной базе», доступной в конце 1920-х гг.

Современные комплексные пилотажные индикаторы предвосхитил электромеханический индикатор, предложенный в 1930 г. К. Крейном и У. Окером⁴⁶. Они назвали его «пилотажным интегратором» (*aerial flight*

⁴⁴ Gardner, T. E. F-100 Super Sabre at War. Minneapolis: Zenith Press, 2007. P. 75.

⁴⁵ Знаменский А. Уклонометры // Техническая энциклопедия / Ред. Л. К. Мартенс. М.: ОГИЗ РСФСР, 1934. Т. 24. С. 496–497.

⁴⁶ Карл Джозеф Крейн (*Carl Joseph Crane*, 1900–1982) — американский военный летчик, полковник. Уильям Чарльз Окер (*William Charles Ocker*, 1880–1942) — американский летчик, пионер авиации. Крейн и Окер внесли большой вклад в совершенствование приборов, теорию и практику полета по приборам, создали первый тренажер для летчиков (1941).

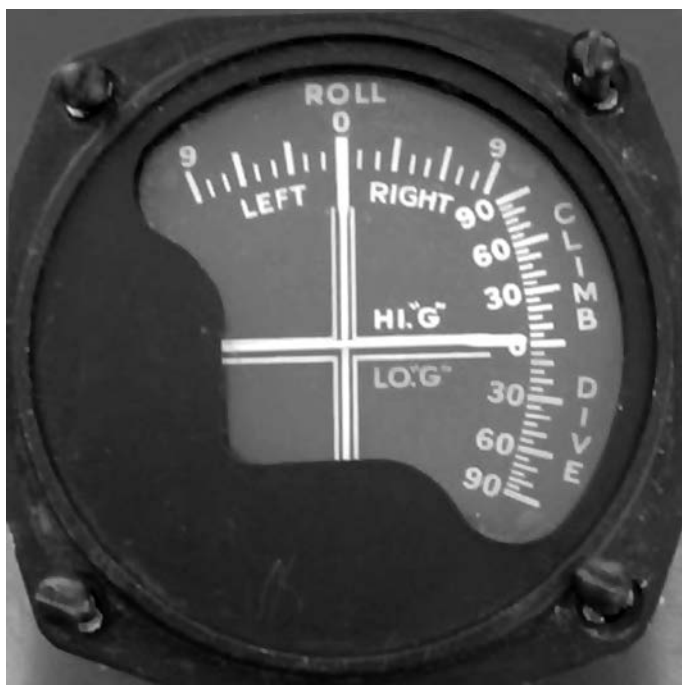


Рис. 18. Индикатор бомбометания

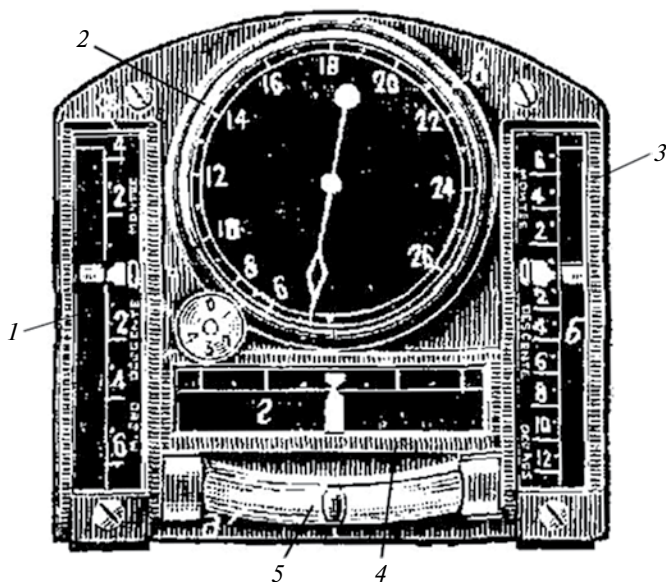


Рис. 19. Комплексный пилотажный прибор (1934): 1 — вариометр; 2 — указатель скорости; 3 — указатель тангажа; 4 — указатель поворота; 5 — указатель крена

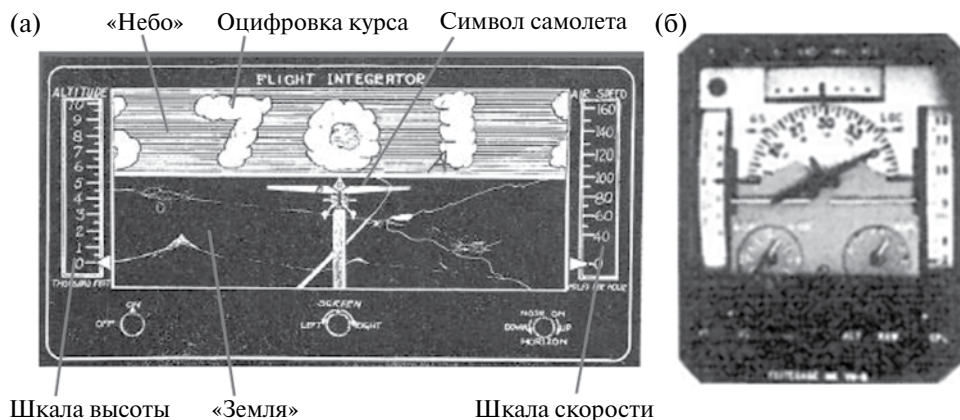


Рис. 20. Комплексный пилотажный прибор Крейна и Окера: а) интегратор (1930); б) пилотажный прибор Крейна (1960)

integrator)⁴⁷. Это именно индикатор, а не прибор: датчиков внутри нет, электрические сигналы от них поступают дистанционно.

Авторы использовали изобразительную индикацию, стараясь сделать показания прибора интуитивно понятными (рис. 20, а). В центре лицевой части интегратора изображен АГ. Небо и земля выглядят как театральная декорация. На переднем плане висит на поводке подвижный самолетик. Он перемещается вверх — вниз соответственно углу тангажа и наклоняется влево — вправо соответственно углу крена. Фон «небо» тоже подвижный: это экран, намотанный на две бобины, он ездит влево — вправо и служит шкалой курса. Оцифровка курса нарисована на фоне неба в виде облаков, а самой шкалы нет. Слева от АГ индицируется шкала высоты, справа — шкала приборной скорости. В нижней части прибора располагались органы управления⁴⁸.

Создать реально работающий индикатор тогда не удалось. Это была, скорее, концепция, мечта. Много позже, в 1960 г., Крейн к ней вернулся и запатентовал усовершенствованную версию комплексного пилотажного индикатора, которую он назвал «всепогодный пилотажный прибор» (*alweather flite-gage*, рис. 20, б) и даже сделал образец такого индикатора. Его облетали несколько летчиков, а в дальнейшем Крейн сам демонстрировал его в полете всем желающим⁴⁹.

Но все-таки такой индикатор еще опережал свое время. Только с появлением электронной индикации в конце 1970-х гг. появилась возможность воплотить идеи Крейна и Окера в жизнь, причем в полном объеме это удалось

⁴⁷ Патент США № 2053183.

⁴⁸ *Previc, F. H., Ercoline, W. R.* The “Outside-In” Attitude Display Concept Revisited // *The International Journal of Aviation Psychology*. 2001. No. 4. P. 377–401; *Dalitsch, W.* Blind Flying // *Approach*. 2011. No. 1–2. P. 6–8.

⁴⁹ *Previc, Ercoline.* Spatial Disorientation... P. 26.

только в начале XXI в., когда появилась возможность объемной индикации рельефа⁵⁰, как у Крейна.

Говоря о комплексных приборах, нужно также вспомнить приборы «вендехорионт» (*Wendehorizont*), которые выпускались в конце 1930-х — начале 1940-х гг. в Германии. Прибор объединял АГ, гироскопический указатель поворота и уклономер в роли указателя скольжения (рис. 21).

Интересные КПП разработали для экранопланов «Орленок» и «Лунь» (рис. 22). Они объединяли АГ и индикатор радиовысотомера. Символ ВС с двумя крылышками (поз. 3) помещен внутри картушки шкалы тангажа (поз. 2), которая вращается вокруг его центральной части. К стеклу прибора прикреплена планка голубого цвета, обозначающая линию горизонта. При изменении тангажа картушка вращается, а неподвижная линия горизонта служит отсчетным индексом на шкале тангажа (ВсВС). В свою очередь, символ ВС может поворачиваться внутри картушки тангажа соответственно углу крена. Отсчетным индексом на шкале крена (поз. 1 или поз. 4) служит то крылышко символа ВС, которое при данном крене ниже (Вс3). Шкала истинной высоты (поз. 5) с увеличением высоты движется вверх, отсчет высоты ведется по планке линии горизонта (ВсВС). Источником информации о высоте служит отдельный высотомер. Но, как и упомянутые экранопланы, в серию эти приборы не пошли.

Следующим этапом развития приборов ИПП стало расширение функций АГ. В это время с развитием автопилотов появился директорный режим пилотирования, когда летчик задавал автоматике маневр, который он хочет выполнять, а автоматика давала летчику команды наведения по крену, тангажу, курсу, высоте и скорости, которые нужно выдерживать, в частности, при заходе на посадку. По существу автопилот обозначал свои действия, как если бы он был включен в работу.

Сначала команды наведения выводились на отдельные приборы, а в 1970-х гг. создали комплексный прибор — командно-пилотажный индикатор (КПИ). Он объединяет АГ, указатель скольжения, индикатор директорных команд и заданных значений, а иногда и указатель поворота. Директорные команды и заданные значения КПИ сам не измеряет, а только индицирует, поэтому его и называют индикатором. Примеры лицевых частей КПП приведены на рис. 23.

Описанные выше приборы уже ушли в историю. Авиагоризонты и КПИ еще встречаются на старых типах ВС и в малой авиации, но постепенно вытесняются и оттуда. На смену механическим и электромеханическим приборам ИПП пришли различные типы электронных индикаторов.

Первыми из них появились индикаторы на лобовом стекле (ИЛС). Они развились из оптических прицелов. Уже 1944 г. в Великобритании создали прицел *AI MkVIII*, на который проецировалось изображение АГ с экрана электронно-лучевой трубки⁵¹. С начала 1960-х гг. все больше боевых самолетов комплектуются такими индикаторами, а к настоящему времени ИЛС

⁵⁰ Так называемая «синтезированная», или «пространственная», индикация (англ. *synthetic vision system*).

⁵¹ *Coombs. Fighting Cockpits...*

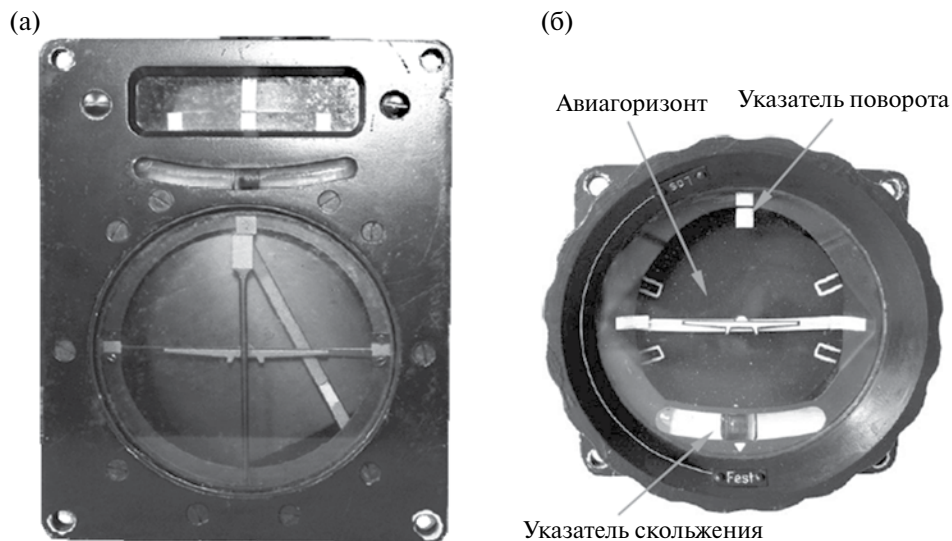


Рис. 21. Авиагоризонты с указателями поворота и скольжения: а) компании «Аскания Верке», 1939 г.; б) компании «Т. Хорн» (Th. Horn), 1944 г. (виртуальный музей Немецких воздушных сил, <http://www.deutschlufwaffe.de/instrumente/katalog%20WK/Horizonte/horizonte.htm>)

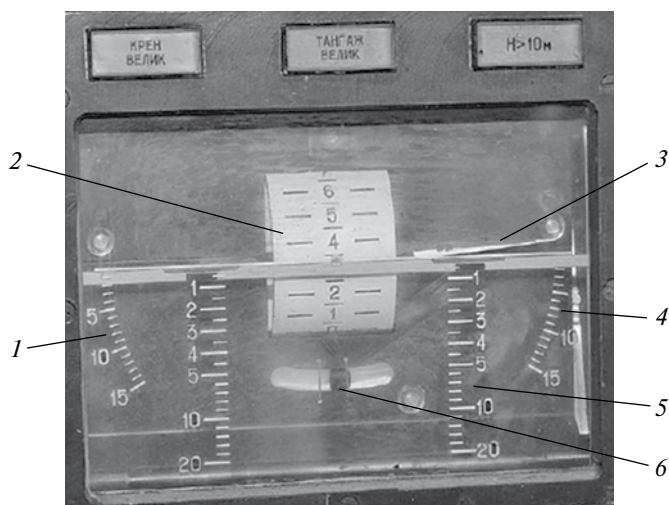


Рис. 22. Комплексный прибор экраноплана «Лунь»: 1, 4 — шкалы крена; 2 — шкала тангажа; 3 — символ ВС; 5 — шкала радиовысотомера; 6 — указатель скольжения ([https://ru.wikipedia.org/wiki/Орленок_\(экраноплан\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Орленок_(экраноплан)))

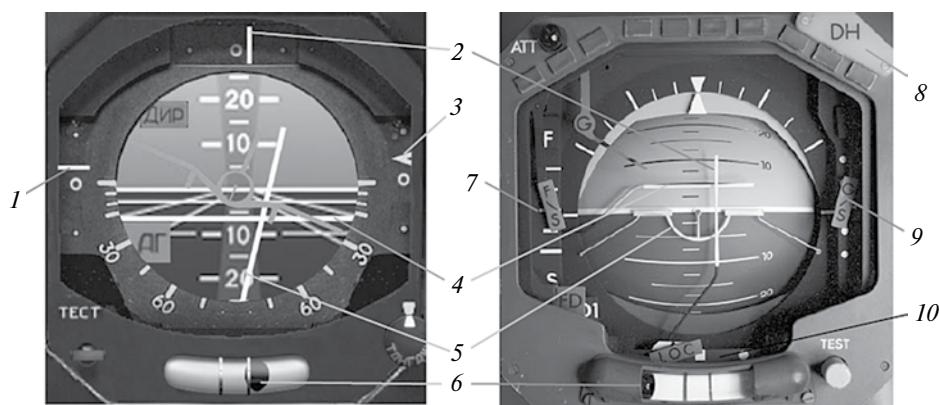


Рис. 23. Элементы индикации командно-пилотажных приборов: 1 — отклонение от заданной скорости; 2 — директорная команда по курсу; 3 — отклонение от заданной высоты; 4 — директорная команда по тангажу; 5 — директорная команда по крену; 6 — указатель скольжения; 7 — отклонение от глиссады планирования; 8 — сигнализатор высоты принятия решения; 9 — отклонение от курса посадки; 10 — указатель поворота

стал обязательной принадлежностью военного самолета, а ИПП — обязательной принадлежностью ИЛС. В последнее время ИЛС стали устанавливать и на гражданские самолеты, и на вертолеты.

Тогда же, в 1960-х гг., появился еще один интересный способ ИПП — на паравизуальных индикаторах (ПВИ). Замысел заключался в том, чтобы избавить летчика от необходимости контролировать угловое положение ВС по приборам, расположенным в кабине, так как при этом ему приходится отвлекаться от контроля окружающей обстановки, что может быть крайне нежелательно, например, при заходе на посадку. ПВИ, в отличие от обычных приборов и индикаторов, рассчитан на то, что летчик видит его информацию тогда, когда на него не смотрит, т. е. периферическим зрением. Первый такой прибор был создан в начале 1960-х гг. в британской компании «Смит» (*Smith Industries*)⁵². Для передачи информации он использовал принцип «бегущих полей», предложенный А. Мадженди: это движение контрастных фигур по лицевой части индикатора⁵³. Такое движение видно боковым зрением. Позже появились и другие типы ПВИ. Но этот тип индикаторов проиграл конкуренцию индикаторам на лобовом стекле, которые выполняют в числе прочего ту же функцию: показывают ИПП в поле зрения пилота, поэтому он может реже отвлекаться на приборы в кабине. Сейчас ПВИ не используются. Однако работа над ними продолжается, в коммерческом секторе такие индикаторы стали популярны, поэтому последний час ПВИ в авиации, возможно, еще не пробил.

⁵² Human Factors in Aviation / E. L. Wiener, D. C. Nagel (eds.). New York: Academic Press, 2010; Smiths Para-Visual Director // Flight. May 13, 1960. P. 652, 655.

⁵³ Majendie, A. M. A. The Para-Visual Director // Journal of Navigation. 1960. Iss. 4. P. 447—454.

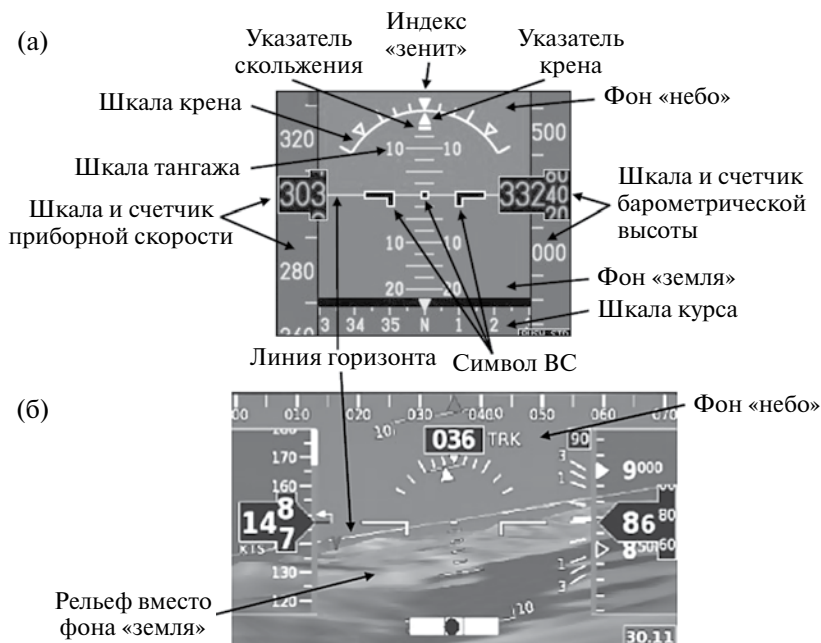


Рис. 24. Индикация пространственного положения электронными индикаторами: а) в традиционном виде АГ (GE Aviation); б) пространственная индикация (GRT Avionics)

В конце 1970-х гг. на борту ВС появилась электронная индикация. Главной задачей из тех, которые ей доверили, стала как раз индикация пространственного положения ВС (рис. 24, а).

В 1970-х гг. были созданы первые наשלемные системы целеуказания: прозрачный прицел перед глазом, который позволял наводить ракету на цель, просто повернув голову так, чтобы она попала в этот прицел. В дальнейшем функции такой индикации были расширены и на ИПП. Современные наשלемные системы целеуказания и индикации отображают летчику всю необходимую информацию постоянно, куда бы он ни смотрел. Это более гибкий аналог ИЛС.

Все типы электронных индикаторов по существу не внесли ничего нового в принцип ИПП: на их экранах рисовали изображение традиционного АГ. Лишь с начала XXI в. стали внедрять новый способ ИПП. До того времени образ полета формировался у летчика, кроме собственных наблюдений и ощущений, по трем проекциям, создаваемым приборами и индикаторами. Каждая из них показывала ВС и окружающую его обстановку с одного конкретного ракурса: сзади, сверху или сбоку. В частности, АГ — это часть заднего ракурса наблюдения.

Новый вид индикации — пространственная индикация, или синтезированное видение (*synthetic vision*), — представляет рельеф земли и вообще картину полета как бы в трехмерном виде: так, как ее видит из кабины пилот (ВсВС, рис. 24, б), или так, как видит ВС и обстановку вокруг внешний наблюдатель, находящийся выше и сбоку от ВС («вид с самолета на самолет» — ВсС).

Все перечисленные средства отображения представляют ИПП в визуальной форме. Это понятно: с помощью зрения человек получает 90 % всей информации, визуальный канал обладает наибольшей чувствительностью и динамическим диапазоном, позволяет передавать сложные виды информации. Но у летчиков современных ВС этот канал уже перегружен. Поэтому ведутся поиски, создаются экспериментальные образцы, которые позволяют передавать информацию о пространственном положении ВС другими средствами отображения – звуковыми и тактильными. Подобная система (*tactile situation awareness system*) была создана в рамках исследовательских проектов ВМФ США и NASA. В костюме летчика со всех сторон вшили пуговицы-вибраторы вроде тех, что используются в сотовых телефонах. Информация о положении самолета от инерциальной навигационной системы поступала в вычислитель, который активировал группу вибраторов с той стороны торса летчика, с которой находится земля. Благодаря этому тот на интуитивном уровне поддерживал представление о пространственной ориентации. Летные испытания доказали эффективность подобного способа представления информации: летчик в закрытой кабине со снятыми приборами после всего получасовой тренировки сумел выполнить комплекс фигур высшего пилотажа, ориентируясь только на тактильные сигналы жилета⁵⁴.

Таким образом, развитие средств отображения информации о пространственном положении, уже прошедшее долгий и интересный путь, продолжается и сегодня.

References

- Andreev, V. D., Blumin, I. D., Devianin, E. A., and Klimov, D. M. (1973) Obzor razvitiia teorii giroskopicheskikh i inertial'nykh navigatsionnykh sistem [A Review of the Development of the Theory of Gyroscopic and Inertial Navigation Systems], in: Grigorian, A. T. (ed.) *Progress mekhaniki giroskopicheskikh i inertial'nykh sistem [Progress in the Mechanics of Gyroscopic and Inertial Systems]*. Moskva: Nauka, pp. 33–72.
- Bennewitz, K. (1922) *Flugzeug Instrumente*. Berlin: Richard Carl Schmidt & Co.
- Brandt, V. V. (1938) *Aviation Instruments*. Moskva: Gosvoenizdat, part 4 (Gyroscopic Instruments).
- Braslavskii, D. A. and Logunov, S. S. (1941) *Aviatsionnye pribory [Aviation Instruments]*. Moskva: Oborongiz.
- Brombacher, W. G. (1930) Present Status of Aircraft Instruments, in: *NACA Report No. 371*. Washington: NACA.
- Brombacher, W. G. and Trent, W. C. (1938) Gyroscopic Instruments for Instrument Flying, in: *National Bureau of Standards Technical Notes No. 662*. Washington: NACA.
- Castle, H. and Dobbins, T. (2004) Tactile Display Technology, *Ingenia*, iss. 20, pp. 31–34.
- Chernenko, G. (1994) Izobretatel' "girokara" [Inventor of the "Gyrocar"], *Izobretatel' i ratsionalizator*, no. 1, pp. 28–29.

⁵⁴ Castle, H., Dobbins, T. Tactile Display Technology // *Ingenia*. 2004. Iss. 20. P. 31–34.

- Chouvardas, V. G., Miliou, A. N., and Hatalis, M. K. (2005) Tactile Display Applications: A State of the Art Survey, in: *Proceedings of the 5th International Conference on Technology and Automation*. Thessaloniki: ATEI, pp. 246–251.
- Connor, R. D. (2012) Historical Perspectives on Avionics Innovation, in: *Proceedings of 2012 IEEE / AIAA 31st Digital Avionics Systems Conference*. IEEE.
- Conway, E. (2008) *Blind Landings: Low-Visibility Operations in American Aviation, 1918–1958*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Coombs, L. F. E. (1999) *Fighting Cockpits 1914–2000. Design and Development of Military Aircraft Cockpits*. Shrewsbury: AirLife.
- Dalitsch, W. (2011) Blind Flying, *Approach*, no. 1–2, pp. 6–8.
- Duz', P. D. (1981) *Istoriia vozdukhoplavaniia i aviatsii v Rossii* [The History of Aeronautics and Aviation in Russia]. Moskva: Mashinostroenie.
- Dyer, S. A. (ed.) (2004) *Wiley Survey of Instrumentation and Measurement*. New York: Wiley & Sons.
- Dzhordanov, A. (1940) *Polety v oblakhakh* [Flights in the Clouds]. Moskva: Voenizdat.
- Equipment Used in Experiments to Solve the Problem of Fog Flying* (1930). New York: The Paniel Guggenheim Fund for the Promotion of Aeronautics.
- Ferry, E. S. (1933) *Applied Gyrodynamics for Students, Engineers and Users of Gyroscopic Apparatus*. New York: John Wiley & Sons.
- Franklin, W. S. and Stillman, M. H. (1925) Inclinometers and Banking Indicators, in: *Aeronautic Instruments. Section IV. Direction Instruments. Report No. 128*. Washington: Government Printing Office, pp. 3–17.
- Fridlender, G. O. and Maiorov, S. A. (1947) Membrannye aeronavigatsionno-pilotazhnye pribory [Membrane Air Navigation and Flight Instruments]. Moskva: Izdatel'stvo VVIA im. N. E. Zhukovskogo.
- Gardner, T. E. (2007) *F-100 Super Sabre at War*. Minneapolis: Zenith Press.
- Hasbrook, H. and Rasmussen, P. G. (1973) *In-Flight Performance of Civilian Pilots Using Moving-Aircraft and Moving-Horizon Attitude Indicators. Report No. FAA-AM-73–9*. Oklahoma City: FAA Civil Aeromedical Institute.
- Johnson S. L. and Roscoe S. N. (1970) *Frequency-Separated Flight Displays. Technical Report QNR-70-2*. Chicago: University of Illinois.
- Kalykhman, D. M. (2009) Zabytye imena: dve sud'by v razlome russkoi revoliutsii [The Forgotten Names: Two Fates in the Chaos of the Russian Revolution], *Novosti navigatsii*, no. 4, pp. 47–52.
- Keldysh, M. V. et al. (1988) *Aviatsiia v Rossii: spravochnik* [Aviation in Russia: A Reference Book]. Moskva: Mashinostroenie.
- Khairulin, M. A. (2010) "Il'ia Muromets". *Gordost' russkoi aviatsii* [Ilya Muromets. The Pride of the Russian Aviation]. Moskva: Eksmo.
- Khor'kov, S. G. (ed.) (1927) *Tekhnika aviatsii* [Aviation Machinery]. Moskva: Avioizdatel'stvo.
- Klein, F. and Sommerfeld, A. (2014, reprint from 1910) *The Theory of the Top*. New York: Springer, vol. 4 (Technical Applications of the Theory of the Top).
- Koehler, F. (1911) Geodäsie auf der Weltausstellung zu Brüssel 1910, *Oesterreichische Zeitschrift für Vermessungswesen*, no. 2, pp. 45–56.
- Krasnov, A. I. (1958) *Volchok i primenenie ego svoistv* [The Top and the Implementation of Its Properties]. Moskva: Gostekhizdat.
- Kuz'mina, Iu. E. (1986) Razvitie metodov i sredstv aeronavigatsii v Rossii [Development of Aircraft Navigation Methods and Devices in Russia], in: *Issledovaniia po istorii i teorii razvitiia aviatsionnoi i raketno-kosmicheskoi tekhniki* [Studies on the History and Theory of Development of Aerospace Engineering]. Moskva: Nauka, iss. 5, pp. 122–133.
- Larchenko, P. F. (1975) K analizu razvitiia aeronavigatsyonnykh ustroistv [Towards the Analysis of Development of Air Navigation Devices], in: *Iz istorii aviatsii i kosmonavтики* [From the History of Aviation and Cosmonautics]. Moskva: IIET RAN, iss. 28, pp. 63–69.
- Lawson, E. and Lawson, J. (2007) *The First Air Campaign: August 1914 – November 1918*. Jackson: Da Capo Press.
- Majendie, A. M. A. (1960) The Para-Visual Director, *Journal of Navigation*, vol. 13, no. 4, pp. 447–454.

- Oker, V. and Krein, K. (Ocker, W. C. and Crane, C. J.) (1933) *Teoriia i praktika slepogo poleta* [*Blind Flight in Theory and Practice*]. Moskva: Voenizdat.
- Previc, F. H. (2004) *Spatial Disorientation in Aviation*. Reston: AIAA.
- Previc, F. H. and Ercoline, W. R. (2001) The “Outside-In” Attitude Display Concept Revisited, *The International Journal of Aviation Psychology*, no. 4, pp. 377–401.
- Saraiskii, Iu. N. and Aleshkov, I. I. (2013) *Aeronavigatsiia. Chast' I* [*Air Navigation. Part I*]. Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo Universiteta GA.
- Shchipanov, G. I. (ed.) (1939) *Osnovy teorii avtomaticheskogo pilotirovaniia i avtopiloty* [*The Foundations of the Theory of Automatic Piloting and Autopilots*]. Moskva: Oborongiz.
- Smith's Para-Visual Director (1960), *Flight*, May 13, pp. 652–655.
- Sobolev, D. A. (1995) *Istoriia samoletov. Nachal'nyi period* [*The History of Aircrafts. The Early Period*]. Moskva: ROSSPEN.
- Spirin, I. T. (1936) *Navigatsiia odinochnogo samoleta* [*Single Aircraft Navigation*]. Moskva: Voenizdat.
- Wagner, J. F. (2005) From Bohnenberger's Machine to Integrated Navigation Systems, 200 Years of Inertial Navigation, in: Fritsch, D. (ed.) *Photogrammetric Week 05*. Stuttgart: Institute for Photogrammetry.
- Wiener, E. L. and Nagel, D. C. (eds.) (2010) *Human Factors in Aviation*. New York: Academic Press.
- Znamenskii, A. (1934) Uklonometry [Inclinometers], in: Martens, L. K. (ed.) *Tekhnicheskaiia entsyklopediia* [*Technical Encyclopedia*]. Moskva: OGIZ RSFSR, vol. 24, pp. 496–497.