

Авиационные вариометры: современное состояние и перспективы развития

Aviation variometers: current state and development prospects

УДК 629.7

Получено: 12.01.2024

Одобрено: 02.02.2024

Опубликовано: 25.03.2024

Степанов А.В.

преподаватель кафедры конструкции и эксплуатации авиационной техники Краснодарского высшего военного авиационного училища летчиков, РФ, г. Краснодар.

e-mail: d.a.123.64@mail.ru

Stepanov A.V.

Lecturer at the Department of Design and Operation of Aviation Equipment, Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots, Russian Federation, Krasnodar.

e-mail: d.a.123.64@mail.ru

Маньшин А.Н.

преподаватель кафедры конструкции и эксплуатации авиационной техники Краснодарского высшего военного авиационного училища летчиков, РФ, г. Краснодар.

e-mail: d.a.123.64@mail.ru

Manshin A.N.

Lecturer at the Department of Design and Operation of Aviation Equipment, Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots, Russian Federation, Krasnodar.

e-mail: alex.manshin@bk.ru

Аннотация.

Вариометр в авиации – это пилотажный контрольно-измерительный прибор, показывающий скорость изменения высоты полёта. Работа вариометра основана на измерении разности атмосферного давления в манометрической коробке, расположенной внутри некоторого замкнутого объёма (герметичный корпус прибора), и давления в этом объёме, сообщающемся с атмосферой капилляром. В статье рассматривается тема вариометров, виды вариометров, принцип работы и применение вариометров в авиации.

Ключевые слова: вариометры, авиация, полет, приборы, скорость, высота, давление.

Abstract

In aviation, a variometer is a flight control instrument that shows the rate of change in flight altitude. The operation of a variometer is based on measuring the difference in atmospheric pressure in a manometric box located inside a certain closed volume (sealed body of the device), and the pressure in this volume connected to the atmosphere by a capillary. The article discusses the topic of variometers, types of variometers, operating principle and application of variometers in aviation.

Keywords: variometers, aviation, flight, instruments, speed, altitude, pressure.

Авиационные вариометры (рис. 1) – неотъемлемый инструмент в кабине пилота, который играет ключевую роль в обеспечении безопасности и эффективности полета. Эти приборы, также известные как вертикальные измерители скорости, предоставляют пилотам критически важную информацию о скорости вертикального перемещения летательного аппарата. От

точности и надежности вариометров напрямую зависят не только комфорт пассажиров, но и способность пилотов принимать оперативные решения при изменении высоты полета [1, с. 46]. В современной авиации используются различные типы вариометров, каждый из которых имеет свои особенности, преимущества и области применения. Развитие технологий привело к появлению электронных моделей, которые обеспечивают более высокую точность и надежность по сравнению с их аналоговыми предшественниками. В статье рассматривается принцип работы вариометров, их классификацию и особенности применения в различных условиях полета.



Рис. 1. Авиационные вариометры самолета Ан-26

Авиационный вариометр, известный также как вертикальный скоростемер, является критически важным прибором на борту любого летательного аппарата, от простейших планеров до самых современных самолетов и вертолетов. Этот инструмент, измеряющий скорость вертикального перемещения воздушного судна, т.е. его подъем или снижение, выполняет решающую роль в обеспечении безопасности полета и точности выполнения маневров в воздухе.

Исторически сложилось, что первые версии вариометров были разработаны и внедрены в начале XX в., и с тех пор они претерпели значительные технологические изменения, превратившись из механических приборов в высокоточные электронные устройства. На базовом уровне вариометр способен обнаруживать изменения атмосферного давления, вызванные движением вверх или вниз, и транслировать эти изменения в информацию о скорости вертикального перемещения. Эта способность делает его неоценимым инструментом для пилотов, позволяя им принимать обоснованные решения при корректировке высоты, осуществлять более плавные переходы и избегать потенциально опасных метеорологических условий.

Современные авиационные вариометры значительно продвинулись по сравнению с их предшественниками. Их разработка ориентирована на улучшение точности измерений, увеличение надежности и расширение функционала [2]. Электронные вариометры, например, могут включать в себя функции GPS-трекинга, предоставлять данные о скорости и направлении ветра, а также интегрироваться с другими бортовыми системами для предоставления комплексной информации о полете. Такие инновации повышают уровень безопасности и эффективности полетов, облегчая пилотам выполнение задач по управлению летательным аппаратом и навигации [3]. Осознание важности и сложности работы авиационного вариометра несомненно подчеркивает его значение как для пилотирования в условиях видимости, так и для инструментального летания. Без точных и своевременных данных о вертикальной скорости полета риски, связанные с управлением летательным

аппаратом, значительно возрастают, делая этот прибор не просто полезным, а абсолютно необходимым элементом оборудования любой авиационной платформы.

Авиационные вариометры представляют собой приборы для измерения скорости вертикального перемещения воздушного судна относительно окружающего воздуха. По способу реализации и принципу работы эти устройства можно разделить на несколько типов [4, с. 420].

Механические вариометры (рис. 2) традиционно использовались в авиации на ранних этапах развития. Они работают на основании измерения изменения давления в капсуле с газом, чувствительной к изменениям внешнего атмосферного давления. Когда летательный аппарат поднимается или опускается, меняется атмосферное давление вокруг капсулы, в результате чего она расширяется или сжимается. Эти изменения преобразуются в механическое движение стрелки, показывающей скорость подъема или снижения [5].



Рис. 2. Механический вариометр

Электронные вариометры (рис. 3) – современное решение, преимущественно заменяющее механические устройства. Они используют различные технологии для определения вертикальной скорости, включая пьезоэлектрические датчики и датчики на основе MEMS-технологий (микроэлектромеханические системы). Высокая точность, надежность в эксплуатации, возможность интеграции с другими авиационными системами и удобство отображения информации сделали электронные вариометры стандартом в современной авиации.



Рис. 3. Электронный вариометр

GPS-вариометры (рис. 4) стали возможны благодаря развитию спутниковой навигации. Используя сигналы от спутников GPS для определения изменений в высоте полета, эти приборы способны предоставлять данные о вертикальной скорости с высокой точностью. Несмотря на то, что зависимость от спутникового сигнала может ограничивать их использование в некоторых условиях, GPS-вариометры пользуются популярностью среди пилотов гражданской и спортивной авиации за их точность и легкость интеграции с другими навигационными системами. Также существуют тепловые вариометры, которые особенно популярны в парапланеризме. Они работают за счет обнаружения изменений температуры окружающего воздуха, вызванных разницей в высоте. Эти устройства могут быть менее точными по сравнению с другими типами вариометров, но привлекают своей простотой и доступностью.

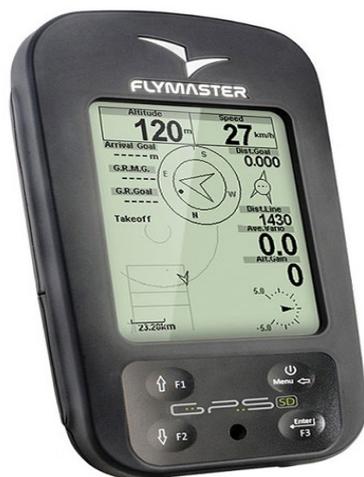


Рис. 4. GPS-вариометр

Также стоит упомянуть о компенсированных вариометрах, которые корректируют показания на основании показаний статического и динамического давления, получаемых от пито-статической трубки [6]. Это позволяет точнее отслеживать действительную скорость вертикального перемещения, минимизируя влияние изменений атмосферного давления и скорости полета на измерения. Варианты авиационных вариометров значительно различаются по своим характеристикам и предназначению, но их выбор всегда определяется особенностями конкретного применения, требованиями к точности измерений и интеграции с бортовым оборудованием.

Авиационные вариометры – это приборы, предназначенные для определения скорости вертикального перемещения воздушного судна (подъема или снижения). Для точной и надежной работы они должны соответствовать ряду технических характеристик и требований. Основными техническими показателями авиационных вариометров являются:

1. *Диапазон измерения*: показывает максимальный и минимальный пределы скорости подъема и снижения, которые способен зарегистрировать прибор. Обычно измеряется в метрах в секунду (м/с) или футах в минуту (ft/min).

2. *Чувствительность*: определяет способность вариометра реагировать на малые изменения скорости вертикального перемещения. Чем выше чувствительность, тем раньше пилот может получить информацию о начале подъема или снижения.

3. *Погрешность измерения*: указывает на возможную ошибку данных, которые предоставляет вариометр. В идеале погрешность должна быть минимальной, чтобы обеспечить высокую точность полётных данных.

4. *Время отклика*: время, необходимое вариометру, чтобы отобразить изменение скорости вертикального перемещения. Быстрое время отклика критично для поддержания эффективного управления полетом, особенно в сложных условиях.

5. *Устойчивость к изменениям внешних параметров:* включает сопротивляемость изменениям температуры, давления, влажности и вибрации, что особенно важно для сохранения точности измерений в различных летных условиях.

Современные авиационные вариометры могут быть *аналоговыми или цифровыми*. Аналоговые модели используют механические сенсоры для отображения информации стрелочным индикатором, тогда как цифровые вариометры предлагают более точные показания и могут иметь дополнительные функции, такие как предупреждение о скоростных порогах, интеграцию с авиационными навигационными системами и возможность записи данных для анализа полёта.

Технические характеристики авиационных вариометров напрямую влияют на безопасность и эффективность полётов, что делает их важным компонентом авиационного оборудования. Авиационные вариометры являются одними из ключевых приборов, используемых пилотами для обеспечения безопасности и эффективности полета. В сущности, вариометр измеряет скорость вертикального перемещения воздушного судна, указывая, поднимается ли оно, опускается или находится на постоянной высоте. Измерение производится в единицах высоты в минуту или в метрах в секунду. Знание вертикальной скорости полета чрезвычайно важно для выполнения различных маневров, а также для предотвращения потенциально опасных ситуаций, таких как столкновение с землей при невидимости.

Принцип работы большинства авиационных вариометров основан на измерении изменения атмосферного давления с высотой. По мере того как самолет поднимается или опускается, давление вокруг изменяется, и эти изменения регистрируются прибором для определения вертикальной скорости. Обычный вариометр состоит из герметичной капсулы, которая расширяется или сжимается в ответ на изменения атмосферного давления (рис. 5). Эти механические перемещения преобразуются во вращение стрелки на циферблате, предоставляя пилоту непосредственное показание вертикальной скорости. Существует два основных типа вариометров: механический и электронный. Механические вариометры используют манометрическую коробку для измерения изменений давления.

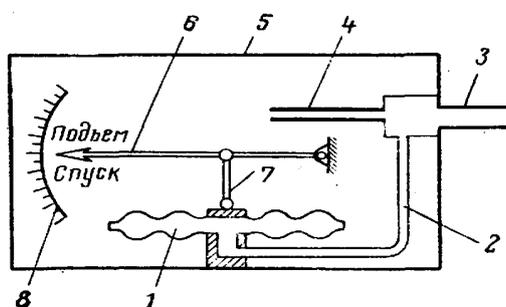


Рис. 5. Устройство вариометра

Электронные же вариометры, ставшие более распространенными с развитием технологий, используют высокоточные датчики давления. Эти датчики обеспечивают большую точность и способны предоставлять дополнительные данные, такие как температура воздуха и плотность, которые могут быть использованы для ещё более точных вычислений. Некоторые современные авиационные вариометры включают функционал компенсации ошибок, вызванных изменением плотности воздуха, и способны автоматически адаптироваться к изменениям погодных условий, обеспечивая еще более точные показания [7]. Кроме того, в эру интеграции технологий, данные с вариометра часто собираются и анализируются авиационными компьютерными системами в реальном времени, что позволяет автоматически корректировать полет при необходимости. Вариометры играют критически важную роль в авиации, позволяя пилотам принимать обоснованные решения на основе точной информации о вертикальной скорости их воздушного судна. Будь то механический девайс старой школы или передовой электронный прибор с цифровыми дисплеями и подключением к авионике, вариометр остается незаменимым инструментом для безопасности полетов [8].

Авиационные вариометры, известные также как индикаторы скорости набора или снижения высоты, имеют чрезвычайно важное значение в авиационной индустрии. Эти приборы предоставляют пилотам критически важную информацию, позволяя им точно контролировать вертикальную скорость самолета, что, в свою очередь, обеспечивает безопасность и эффективность полета. В коммерческой авиации, где график и экономия топлива являются основными приоритетами, точность авиационных вариометров критически важна. С их помощью пилоты могут оптимизировать угол набора высоты при взлете и угол снижения при посадке, чтобы максимально сократить время полета и потребление топлива, при этом обеспечивая комфорт для пассажиров. Кроме того, вариометры помогают поддерживать заданный флотом или контролем воздушного движения вертикальный профиль полета, что способствует более плавному управлению воздушным потоком и снижению вероятности столкновений в воздухе. В спортивной и частной авиации авиационные вариометры также играют ключевую роль [9]. В парапланеризме и глайдинге, где способность правильно оценить вертикальную скорость может быть разницей между успешным полетом и принудительной посадкой, эти приборы являются неотъемлемой частью оборудования. Вариометры помогают пилотам использовать восходящие воздушные потоки для набора высоты, таким образом продлевая время полета и расширяя возможности для дальних перелетов.

В военной авиации вариометры используются не только для управления полетом, но и в тактических целях. Например, точное контролирование скорости набора высоты может быть решающим в операциях, где необходимо минимизировать радиолокационную видимость или эффективно преодолевать противовоздушную оборону. Современные авиационные вариометры часто интегрируются с электронными полетными информационными системами (EFIS), предлагая пилотам легко интерпретируемые цифровые дисплеи и высокоточные данные, собранные с помощью встроенных в самолет датчиков. Это позволяет авиаторам быстро принимать решения и адаптироваться к меняющимся условиям полета.

Таким образом, авиационные вариометры служат важным инструментом в арсенале любого пилота, обеспечивая безопасные и эффективные полеты во всех сферах авиации. От точных научных расчетов до решения практических задач, знание и понимание работы этих приборов являются неотъемлемым элементом подготовки и выполнения любых воздушных операций [10].

С развитием авиационной техники и увеличением требований к безопасности и оптимизации полетов, авиационные вариометры продолжают эволюционировать. Новые технологии, такие как искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение, открывают пути для создания умных вариометров, способных анализировать большие объемы данных в реальном времени и предоставлять пилотам более точную информацию об изменении высоты полета. Появление интернет вещей (IoT) позволяет интегрировать вариометры в единую сеть бортовых устройств, обеспечивая лучшее взаимодействие инструментов и возможность обмена данными с землей и другими воздушными судами для реализации концепций управления воздушным движением следующего поколения, таких как SESAR в Европе и NextGen в США. Гибридные технологии, сочетающие классическую механику с современными электронными компонентами, делают вариометры более надежными и точными. Современные датчики, способные выдерживать экстремальные условия перепадов давления и температур, увеличивают точность измерений изменения высоты полета даже в сложных метеорологических условиях. Рост интереса к экологически чистым технологиям стимулирует внедрение систем, способствующих уменьшению энергопотребления приборов и, соответственно, снижению углеродного следа авиации. Энергоэффективные вариометры, использующие минимум электроэнергии, могут способствовать более экономичному использованию ресурсов самолета. Дополнительное направление развития – повышение интеграции вариометров в многофункциональные дисплеи, что улучшает эргономику рабочего места пилота и облегчает восприятие полетной информации. Также важное значение имеет

улучшение безопасности полетов путём внедрения новых функций предупреждения о столкновениях с землёй и другими препятствиями.

В заключение результатом этих тенденций станет производство вариометров, которые не только точно измеряют изменения высоты, но и вносят весомый вклад в повышение эффективности и безопасности полетов.

Литература

1. *Писаренко, В.Н.* Техническая эксплуатация и ремонт авиационных электрических систем и пилотажно-навигационных комплексов: учеб. пособие. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева, 2007. – 235 с.
2. *Дмитренко, А.Ю.* Конструкция и летная эксплуатация силовых установок самолета Ан-26: Учебное пособие / А.Ю. Дмитренко, В.И. Алфимов, А.Н. Анищенко. – Краснодар: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова» Министерства обороны Российской Федерации, 2021. – 236 с. – EDN ICTNTY.
3. *Дмитренко, А.Ю.* Конструкция и летная эксплуатация самолета Ту-142МК / А.Ю. Дмитренко, А.Н. Анищенко, В.И. Алфимов. – Краснодар: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова» Министерства обороны Российской Федерации, 2019. – 194 с. – EDN CLSTFR.
4. *Ермаков, Д.А.* Оценивание информированности оператора системы с учётом параметров радионавигационного оборудования / Д. А. Ермаков, Н. А. Куприянов, И. И. Мирошников // Вопросы контроля хозяйственной деятельности и финансового аудита, национальной безопасности, системного анализа и управления: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 29 декабря 2021 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Экспертно-аналитический центр", 2022. – С. 418-427. – EDN ZDZCPA.
5. *Габеев, В.Н., Соловьев, Ю.С.* Авиационные приборы и информационно-измерительные системы: пособие по выполнению контрольной работы и курсового проекта, – М.: МГТУ ГА, 2015. – 24 с.
6. *Куприянов, Н.А.* Анализ влияния состояния бортового радионавигационного оборудования воздушного судна на ситуационную осведомлённость экипажа / Н. А. Куприянов, Д. А. Ермаков, Я. В. Полуниин // Межвузовский сборник научных трудов: Сборник статей. Том Выпуск 26. – Краснодар: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова» Министерства обороны Российской Федерации, 2022. – С. 52-57. – EDN FSHXKF.
7. *Зоричев, А.В.* Конструкция и летная эксплуатация самолета ТУ-22М3: учебное пособие / А.В. Зоричев, А.Ю. Дмитренко, А.Н. Анищенко. – Краснодар: Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков, 2023. – 252 с. – EDN CDRMIK.
8. *Васин, П.К.* Авиационные приборы. Часть 2, М.: Государственное военное издательство наркомата обороны СССР, 1989. – 220 с.
9. *Воробьёв, В.Г., Глухов, В.В., Кадышев, И.К.* Авиационные приборы, информационно-измерительные системы и комплексы: Учебник для вузов; Под ред. В.Г. Воробьёва. – М.: Транспорт, 2021. – 189 с.
10. *Алфимов, В.И.* Конструкция и Летная эксплуатация самолета Ил-76МД: Учебное пособие / В.И. Алфимов, А.Ю. Дмитренко, Ю.П. Сосновский. – Краснодар: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова» Министерства обороны Российской Федерации, 2022. – 412 с. – EDN FIAKNS.