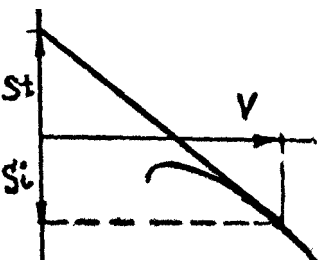


ДОЛЁТ.

РАСЧЁТ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.

Для изготовления логарифмической линейки долёта любой конструкции нам нужны глиссиды планирования нашего планера по отношению к земле при различных установках кольца и продольных составляющих скорости ветра. Мы предполагаем, что движение воздуха вверх и вниз во время долёта компенсируются в их действии и скорости снижения по данной траектории вычисляются из поляры для неподвижного воздуха. Поляра, используемая для этой цели, должна быть рассчитана по возможности реально и для той нагрузки на крыло, с которой мы обычно летаем. Требуемые исходные величины получаем с помощью тангенциального построения.

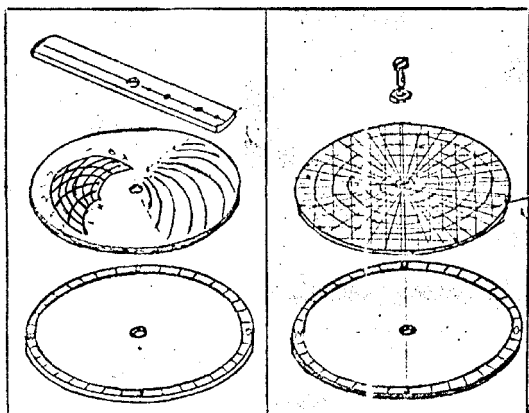
Для изготовления линейки долёта лучше всего сначала изготовить таблицу величин относительной дальности. Для многих расчетных устройств (Прибор Штоккера) – выгодно сразу вычислить заданную высоту для определённого расстояния (здесь 25 км). Копируем таблицу и сначала заполняем её левый столбец данными, снятыми с поляры. Исходя из этих данных, заполняется вся таблица. При расчёте рекомендую использовать электронный микрокалькулятор (напоминаем, что книга 1982г).

	$E_g = \frac{V + W_k}{S_i \cdot 3.6}$	$h_{25} = \frac{25000}{E_g} = \frac{90000 S_i}{V + W_k}$

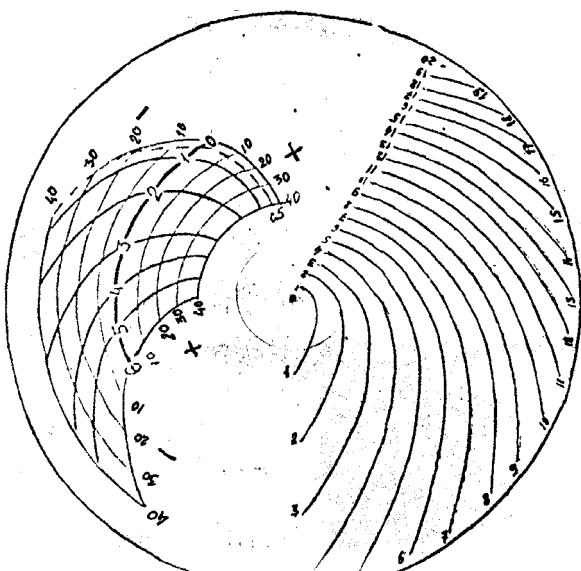
Si	V	Si	90000	Si	путевая составляющая ветра км/час									
						40 -	30 -	20 -	10 -	0	10 +	20 +	30 +	40 +
0				Vg										
					Eg									
					h25									
.5				Vg										
					Eg									
					h25									
1				Vg										
					Eg									
					h25									
2				Vg										
					Eg									
					h25									
3				Vg										
					Eg									
					h25									
4				Vg										
					Eg									
					h25									
5				Vg										
					Eg									
					h25									
6				Vg										
					Eg									
					h25									

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛИНЕЙКИ ШТОККЕРА.

Для изготовления линейки долёта нам требуется диск из любого материала (непрозрачного) диаметром 22 см. На его внешнем обводе с обеих сторон наклеивается кольцо сторон света с градуировкой через 10° . Затем из оргстекла изготавливается диск диаметром 21 см, на котором соответственно чертёжу рисуем спирали (это не арифметические спирали, как первоначально предполагал Штоккер).



Спирали расположены таким образом, чтобы они пересекали любой радиус на одинаковые отрезки. Числа – это высота, умноженная на 100 метров. Цифра 12, таким образом, означает высоту 1200 метров.



Дополнительно изготавливаем поворотную линейку, на одной стороне которой через каждые 2 см нанесены точечные отметки. Каждое расстояние между этими точками соответствует 5 км. Самая крайняя точка соответствует, таким образом, расстояний 25 км до цели. Решетчатая сетка, лежащая напротив спиралей, различна для разных планеров. Поэтому она вычерчивается не на диск, а на прозрачную бумагу, которая затем наклеивается под диск. Тем самым мы оставляем себе возможность переделать в случае надобности эту линейку на другой тип планера. Продольные составляющие ветра изображены на линейке концентрическими окружностями, причем попутный ветер откладывается к центру, а встречные - к периферии. Величины установок кольца при различных ветрах, соответствующей различным высотам, берутся из таблицы. На основной диск наклеивается карта в масштабе 1:250000, чтобы посадочная площадка - цель лежала в центре, а стороны света соответствовали их обозначениям на внешнем кольце диска. Измеритель углов сноса и составляющих ветра, назначение которого описано в первой части книги, практически образует обратную сторону линейки Штоккера.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЛИНЕЙКИ ШТОККЕРА.

1. Известны: место, скороподъемность, путевая составляющая ветра.

Найти:

- Расстояние до цели.
- Курс к цели.
- Потребную высоту для долёта.
- Глиссаду планирования над землёй (относительную дальность).

- Поворачиваем линейку так, чтобы черточка лежала над той точкой решетчатой сетки, которая характеризует составляющую ветра и скороподъемность.

- Теперь поворачиваем прозрачный диск с линейкой относительно основного диска так, чтобы черточка линейки (против решетчатой сетки) проходила над нашим местоположением по карте.

- a. Расстояние до цели смотрим по отметкам на линейке.
- b. Направление курса, на цель считывается по наружному кольцу стран света.
- c. Потребная для полёта высота задана спиралью, проходящей над нашим местоположением.
- d. Относительную дальность получаем, как отметку расстояния на линейке в том месте, где спираль 1000метров (10) пересекает черту на линейке.

2. Известны: местоположение, высота, продольная составляющая ветра.

Найти: установку кольца

- Диск поворачиваем так, что спираль, характеризующая нашу высоту, проходит над нашим местоположением по карте.

- Линейку на диске также устанавливаем на местоположение.

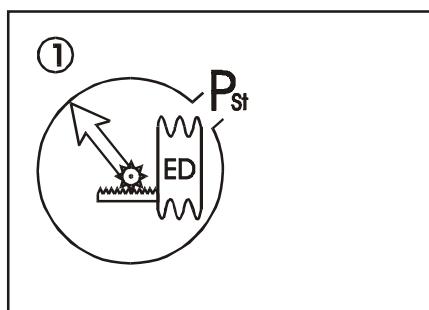
- Искомая установка кольца считывается там, где черта на линейке пересекает круг продольной составляющей фактической ветра на решетчатой сетке.

3. Места начала полёта, находящиеся дальше, чем за 25 км от цели, требуют либо карты масштаба 1:500 000 (указанную спиралью высоту полёта каждый раз удваивать), либо измерения расстояний по обычной карте. Благодаря отметкам расстояний по линейке, этот прибор и в данном случае служит для определения требуемых величин. Он имеет также то преимущество, что на удалении до 25 км от цели мы можем отложить в сторону полётную карту и пользоваться только измерителем Штоккера. Это экономит внимание, необходимое для других вещей. Один раз правильно установленная высота при полёте постоянно может быть проконтролирована, для чего нет необходимости изменять установку линейки.

ОБОРУДОВАНИЕ ПЛАНЕРОВ ПРИБОРЫ.

Схематическое описание приборов даёт общее представление об их устройстве и применении. Вопросы, связанные с вариометром, будут рассмотрены подробно, по составным элементам этого прибора, применяемым в комплексе с другими приборами. Описание других приборов ограничивается лишь самыми необходимыми сведениями.

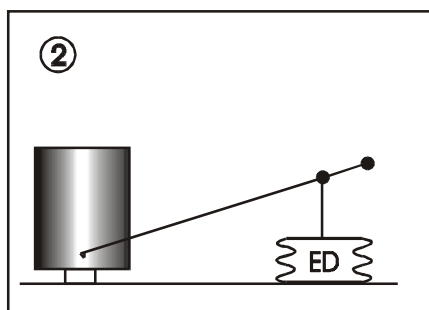
Высотомер



P_{st} – статическое давление

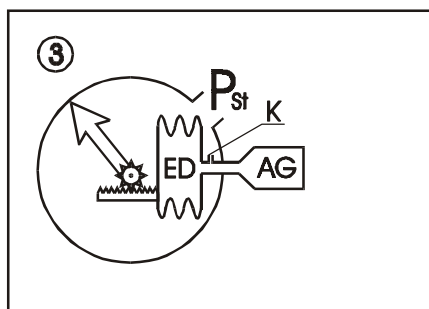
ED – упругая коробка (анероид)

Барограф



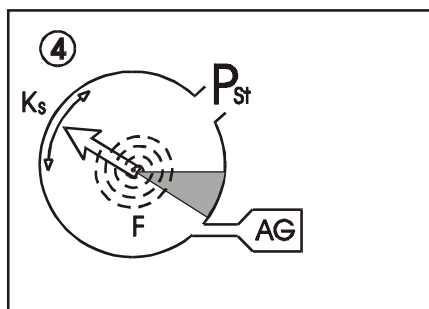
ED – анероид

Грубый вариометр (анероидный)



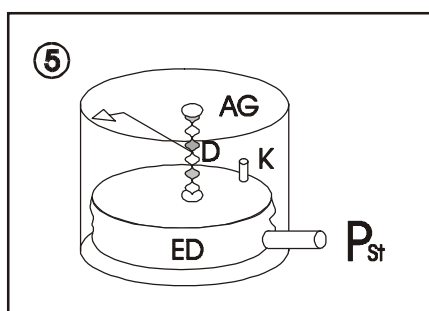
ED – анероид, соединённый с атмосферой
AG – компенсирующая ёмкость
K – капилляр

Крылышковый вариометр



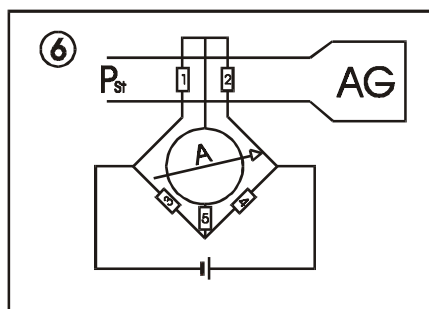
F – спиральная пружина
Ks – капиллярная щель

Вариометр на витой ленте



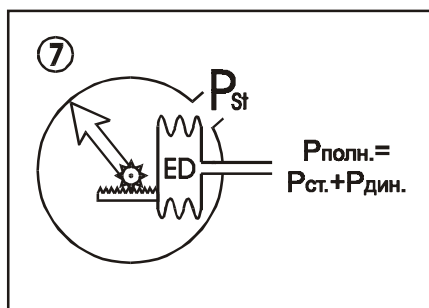
K – капилляр
D – витая лента

Электронный вариометр

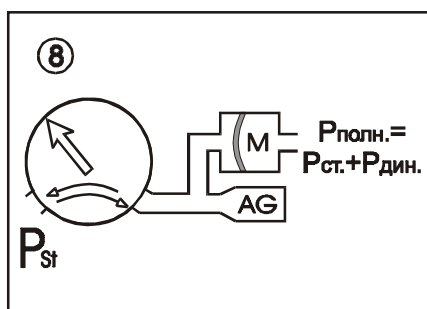


1,2 – температурно зависимые, одинаково точные сопротивления
3 - постоянное сопротивление
4 – регулируемое сопротивление для установки нуля
5 – сопротивление для действующего диапазона измерений
A – прибор измеритель

Указатель воздушной скорости

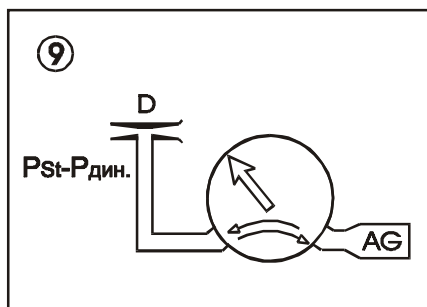


Мембранно-компенсированный вариометр полной энергии



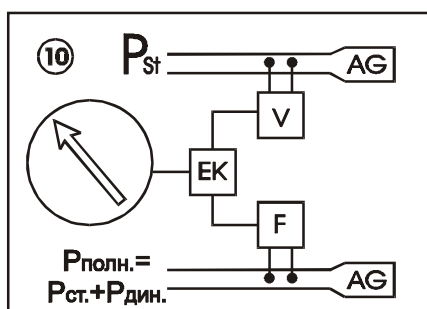
М – эластичная мембрана

Сопло-компенсированный вариометр полной энергии



D – трубка Вентури (сопло)

Электронный компенсированный вариометр полной энергии



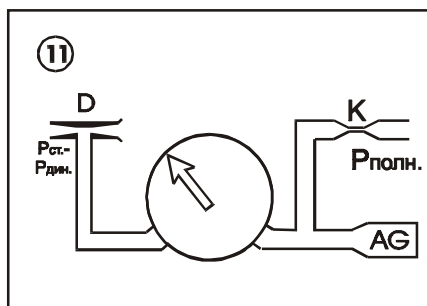
V – электронный блок измерения изменения высоты

F – электронный блок измерения скорости

ЕК – электронный компенсатор

A – указатель (указателем может быть также ЭВМ, если ЕК – электровычислитель).

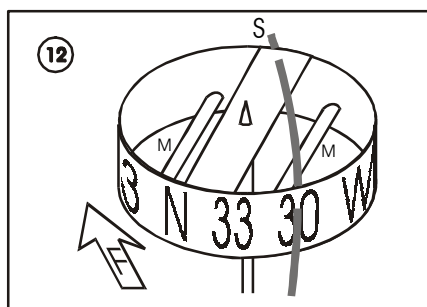
Полноэнергетический указатель скорости (оптимизатор)



D – сопло

K – капилляр (при другой калибровке капилляра может служить как полноэнергетический эталонный вариометр).

Обычный авиационный компас

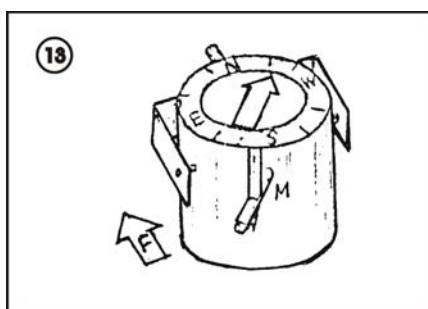


M – магниты

F – направление полёта

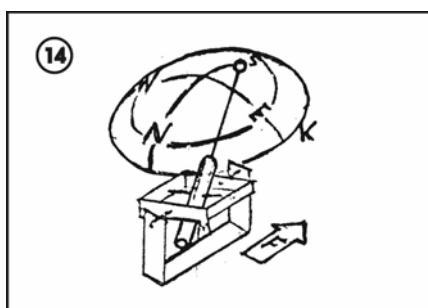
S – курсовая черта

Компас Кука



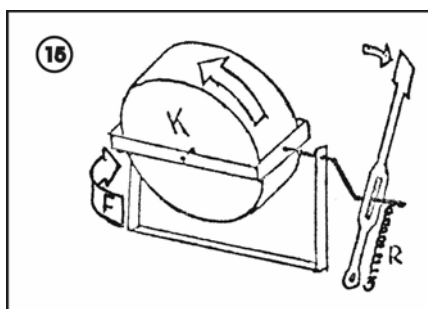
(Компасы 12 и 13 изображены в одинаковом положении относительно звёзд и для одного направления полёта).

Сбалансированный компас в трёхступенной карданной подвеске.



К – прозрачный колпак

Указатель поворота

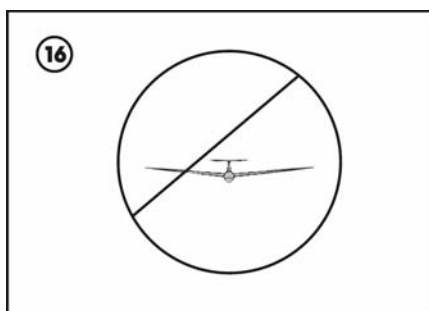


К – гироскоп

Р – возвратная пружина

Ф – направление разворота

Искусственный горизонт (Авиагоризонт)



Использует трехстепенной
карданнобалансированный гироскоп (крен вправо).

ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ В ОТДЕЛЬНОСТИ.

(Цифра в скобках после некоторых названий соответствует номеру схематического изображения).

НИТКА.

Нитка, закреплённая на относительно плоском участке фонаря в поле зрения пилота (нейтральное положение маркируется маленькими наклеенными уголками или водостойкой краской), почти безошибочно указывает, со скольжением или без скольжения летит планер. Угол отклонения нити в сторону при скольжении обычно больше фактического угла скольжения.

Корректировка полёта при отклонённой нити:

Руль направления отклоняется против отклонения нити.

Элероны отклоняются в направлении отклонения нити.

Во время спирали нить направлена в сторону вращения.

Каждый планер, предназначенный для полётов по маршруту, желательно оборудовать нитью.

ШАРИК.

Он указывает направление суммарного вектора сил (вес + центробежная сила) относительно планера. Во время спирали он отходит в большинстве случаев (но не всегда) наружу, реагирует вяло и для полётов по маршруту не подходит.

ЖИДКОСНЫЙ ПОПЕРЕЧНЫЙ УРОВЕНЬ.

Указывает направление, перпендикулярное к направлению совместного действия сил, в противоположность шарик у реагирует значительно быстрее и является хорошим прибором для слепого полёта, если он заполнен незамерзающей жидкостью.

Корректировка полёта при скольжении:

Руль направления отклонять против отклонения воздушного пузыря, элероны – в направлении отклонения пузыря, или совместная корректировка, т.е. точно так же, как и для нити.

ВЫСОТОМЕР.

Это прибор измерения воздушного давления, который работает при помощи упругой мембранной коробки (анероида). Его шкала размечена для стандартной метеорологической атмосферы. С помощью установочного винта шкала может быть сдвинута относительно измерителя.

УСТАНОВОЧНОЕ КОЛЬЦО ВЫСОТОМЕРА СО ШКАЛОЙ ВЫСОТ.

Как и кольцо Мак-Креди, оно может быть установлено на любое значение и при полёте по маршруту облегчает отсчёт высоты над поворотными пунктами и над целью.

БАРОГРАФ (2).

Записывает кривую изменения воздушного давления по времени. Коптильный барограф пишет на чернённой алюминиевой фольге и является менее восприимчивым, чем чернильный барограф. Штриховой барограф наносит через каждые 6 секунд метку на специальную бесконечную ленту и даёт, благодаря этому, очень точно отображающую полёт барограмму. Прибор, однако, очень дорогой и чувствительный в обращении.

ИЗМЕРИТЕЛЬ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА (7).

Измеряет разницу между статическим и полным давлениями из приёмника воздушного давления (ПВД)

$N \rightarrow O \rightarrow S$
быстро пробегает

Вся шкала размечена в КМ/ЧАС (или узлах) для определённых метеорологических условий.

СИСТЕМЫ ВАРИОМЕТРОВ.

Слово «вариометр» означает «измеритель изменения» и в этом значении мы и должны его понимать. Однако без более подробного объяснения непонятно – какие изменения измеряются? Необходимо совершенно ясно и однозначно отличать:

- а). Высотный вариометр (3,4,5,6 – некомпенсированный вариометр) измеряет изменение высоты планера по времени.
- б). Полноэнергитический вариометр (8,9,10 – ПЭ – компенсированный вариометр) измеряет изменение полной энергии планера по времени.
- с). Нетто-вариометр (11 – ТЕР – компенсированный вариометр) измеряет подъём и опускание воздушной массы.
- д). Вариометр оптимальной траектории, оптимизатор (датчик оптимальной скорости по Брюккеру). Удерживая его показания на ожидаемой скороподъёмности, получаем оптимальную скорость переходов.

Эти четыре прибора показывают, таким образом, совершенно различные величины, однако их главная составная часть, сам измеритель у всех одинаковый.

В зависимости от того, как он подключён и какие использует дополнительные элементы, различают, что измеряется.

Вариометры работают по следующему принципу:

Определённые воздушные ёмкости (выравнивающие ёмкости) используются для измерения изменения давления. Для этого выравнивающая ёмкость имеет отверстие (капилляр). Само измерение происходит не только посредством разницы давлений между выравнивающей ёмкостью и внешним давлением (анероидный, крылышковый и крутильно-пружинный вариометр), но и посредством самой выравнивающей струи (охлаждающей нагревающееся электрическое сопротивление (E-Vario – электронный вариометр)).

а). ВЫСОТНЫЙ ВАРИОМЕТР.

Ранее широко распространённый простой вариометр, построенный на выравнивающей ёмкости и статическом давлении – это высотный вариометр. Он указывает подъём или снижение планера в метрах в секунду. Этот вариометр, обозначаемый как брутто-вариометр, может указывать собственные вертикальные перемещения планера и метеорологические движения воздушных масс.

Так как фактические подъёмы и спуски планера, указываемые этим прибором, зависят не только от движения воздушных масс и качества планера, но и в решающей мере от положения руля высоты, то в современном планере с его частыми изменениями скорости и при центрировании спирали в термике этот вариометр совершает удивительные скачки. Это делает невозможным точно определить место наиболее сильного подъёма. Высотный вариометр окончательно ушел в прошлое планеризма. Если в книге ещё рассматривается высотный вариометр, то по двум причинам: во-первых, им, к сожалению, оборудованы ещё добрых 80% наших учебно-тренировочных планеров, и во-вторых, он позволяет более наглядно объяснить принцип работы собственно измерителя, который может быть сконструирован по разному.

-Анероидный вариометр(3) – работает с упругой анероидной коробкой, реагирует очень медленно. Так как он работает замедленно, что также усугубляется сопротивлением потоку в проводке, он подходит лишь для того, чтобы определять среднюю скороподъёмность в различных высотных слоях, используемую интеграторами и компьютерами. На сегодняшний день он потерял своё значение для планеризма.

-Пружинно крутильный вариометр(5) – он основан на принципе анероидного вариометра, у которого передача усилия, однако, сконструирована иначе. Через витую ленту усилие передаётся прямо на очень лёгкую стрелку. Благодаря этому получается весьма быстрый и точный указатель.

-Крылышковый вариометр (флажковый)(4) – поворотный металлический флажок с тонкой спиральной возвратной пружиной отклоняется выравнивающим воздушным потоком. Такие вариометры сегодня наиболее распространены.

-Электронный вариометр(6) – здесь используется совершенно другой принцип. Чаще всего такой вариометр конструктивно состоит из двух электрических сопротивлений, зависящих от температуры (термосопротивления, NTC – сопротивления), которые расположены в выравнивающем потоке друг за другом. Таким образом они охлаждаются с разной интенсивностью, т.к. в каждом случае одно из них находится в аэродинамической тени охлаждающего воздуха. Вызванная этим разница в сопротивлении подаётся через измерительный мост на указатель. Преимуществами этого способа являются очень высокое быстродействие и возможность пропустить измерительный

ток через звуковой генератор (акустический указатель). Такой вариометр известен под названиями:

- теплопроводный вариометр,
- металлозондовый вариометр,
- NTC – вариометр,
- термистор-вариометр.

Другие электронные вариометры работают по принципу анероидных вариометров, причём упругие деформации измеряются электрически.

В противоположность этому другие вариометры работают с электронным высотомером, таким образом, подъём или снижение «вычисляются» прибором электрическим дифференцированием по времени. Так как у всех этих приборов измеряемая величина получается электрически, они годятся в качестве измерительных датчиков для бортовой ЭВМ (в комплексе с электронным указателем скорости).

б). ПОЛНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ВАРИОМЕТР (ТЕ – КОМПЕНСИРОВАННЫЙ ВАРИОМЕТР).

В то время, как высотный вариометр показывает изменение высоты полёта, а в месте с этим изменение потенциальной энергии, полноэнергетический вариометр указывает изменение суммарной энергии планера, в которую входит, кроме потенциальной энергии (энергии высоты), ещё и кинетическая энергия (энергия скорости).

$$E_{\text{полн.}} = E_{\text{пот.}} + E_{\text{кин.}}$$

Большое преимущество полноэнергетического вариометра в том, что набор высоты с потерей скорости не указывается на шкале как процесс без изменения полной энергии. Таким образом, мы можем независимо от каких-либо изменений скорости из-за подъёма или снижения увидеть в каком-либо восходящем потоке увеличиваем мы энергию или нет. Одновременно весьма упрощается определение области восходящего потока как области увеличения энергии. Из-за нечувствительности к изменению скорости полноэнергетический вариометр пригоден для установки на нём кольца Мак-Креди. Имеются различного рода ТЕ-компенсаторы, которые превращают вариометр в полноэнергетический.

1). Мембранно-компенсированный полноэнергетический вариометр(8).

Влияние скорости на прибор вызывается полным давлением на гибкую мембрану. От трубки Пито (ПВД) перед указателем скорости отводится проводка, напор в которой более или менее сильно прогибает гибкую мембрану. В этом случае при повышении скорости воздух от задней стенки мембраны подводится в систему вариометра, и, соответственно, при понижении скорости возвращается обратно. Так как эта проводка соединена с вариометром, добавка в скорости воздействует на него как увеличение подъёма, а уменьшение скорости ведёт к эффекту «снижения». Если мембрана точно отрегулирована под прибор, этот эффект достигает такой величины, что он компенсирует увеличение снижения за счёт набора скорости (соответственно действие подъёма из-за уменьшения скорости). Вариометр указывает только изменение полной энергии. При этом, очевидно, что такая система будет функционировать, если для мембраны точно выполнены условия упругости и размеров, она к тому же должна быть настроена на выравнивающий объём. Большинство компенсаторов не выполняют эти условия и со временем заменяются. Все мембранные компенсаторы работают правильно только на одной точно выбранной высоте полёта, для которой они рассчитываются и соответственно изготавливаются. Эти трудности возникают так же оттого, что при таком принципе изменение скорости отбирается в другом месте (полное давление – компенсатор – ёмкость – прибор), чем изменение высоты (статическое давление – измерительный прибор). Так как одно влияние воздействует на указатель быстрее, чем другое, то это ведёт к сильным забросам указателя, что, с другой стороны, требует выравнивания путём сопротивления потоку (см. ниже). Мембранным компенсатором компенсируются только вариометры, использующие выравнивающий поток, и только по мере надобности.

2). Полноэнергетический вариометр, компенсированный соплом (9).

Вместо статического давления к измерительному прибору подключается сопло (жиклёр), продуваемое скоростным воздушным напором и дающее давление $P_{\text{стат.}} - P_{\text{дин.}}$ (т.е. «поддув»): сопло имеет, поэтому коэффициент 1. Оно действует уменьшением давления в сравнении со статическим давлением на такую же величину, на которую трубка ПВД измерителя скорости воздействует повышением давления.

Принцип действия:

В горизонтальном полёте при постоянной скорости (для планеров возможно только в восходящем потоке) во всей системе вариометра устанавливается давление $P_{\text{стат.}} - P_{\text{дин.}}$ которое отбирается от сопла («поддув»). Вариометр показывает «0», т.к. в обеих системах вариометра находится одинаковое поддавливание.

Потеря высоты при постоянной скорости превышает $P_{\text{стат.}}$. Т.к. при этом повышается измеряемое давление $P_{\text{стат.}} - P_{\text{дин.}}$, вариометр показывает снижение.

Увеличение скорости при постоянной высоте (для планеров возможно только в восходящем потоке) повышает $P_{дин}$. Вследствие этого уменьшается измеряемое давление $P_{стат.} - P_{дин}$. Воздух через вариометр течёт в направлении из выравнивающей ёмкости. Указатель идёт на «подъём». Если этот эффект указателя в направлении подъёма как раз такой величины, что он компенсирует повышенный спуск, возникающий при увеличении скорости, то мы снова имеем полноэнергетический вариометр. Он показывает нам только изменение полной энергии независимо от изменения скорости. Это бывает лишь в том случае, когда коэффициент сопла равен точно «1» и сопло закреплено в таком месте, где воздух набегаёт точно с воздушной скоростью планера. Т.к. при этом способе компенсации скоростной и высотный эффект воспринимаются в одном месте (в сопле) то отпадает проблема синхронизации по времени. Размер выравнивающей ёмкости произволен в широких пределах, сопло работает безошибочно на всех рабочих высотах. Эта система имеет дополнительно то преимущество, что можно с одним и тем же соплом компенсировать большинство типов вариометров. Если конструкция предполагает также компенсировать «нормальный» вариометр посредством такого сопла. Эти положительные качества рассмотренного компенсатора привели к тому, что сегодня почти все планера соревновательных классов оборудованы такими соплами, хотя они увеличивают лобовое сопротивление и не украшают его элегантный вид. «Сопловая» компенсация надёжна, работает безотказно и неограниченно долго, недорого стоит и легко устанавливается, если на планере один раз найдено правильное место.

Виды конструкций сопла:

Сопло Косима (= сопло Ирвинга) с оконечной шайбой кажется прямо-таки массивным и даёт наверняка большее лобовое сопротивление, чем современные сопла, однако имеет преимущество – оно довольно не чувствительно к скольжению (до 20°). Стародавняя трубка Вентури значительно более элегантна, но, к сожалению, не так нечувствительна к скольжению (\approx до 10°), так что она, особенно если установлена на фюзеляже, при центрировании спирали приводит к значительным перебоям в показаниях вариометра.

Лётная группа в Брауншвейге экспериментально разработала устойчивое к скольжению (до 40°) и очень маленькое сопло по принципу сопла Косима.

Герхард Вайбель использует простейшую вертикальную трубку с двумя боковыми отверстиями, из Ганновера сообщили о нечто подобном с прорезями (разработка Х.Бардовика). В принципе, безразлично, какое именно приспособление используется для получения измерительного давления $P_{стат.} - P_{дин.}$, лишь бы оно было настроено на коэффициент «1» (как это получить наиболее просто, будет рассмотрено ниже). Отбор измеряемого давления должен быть в широком диапазоне нечувствителен к скольжению.

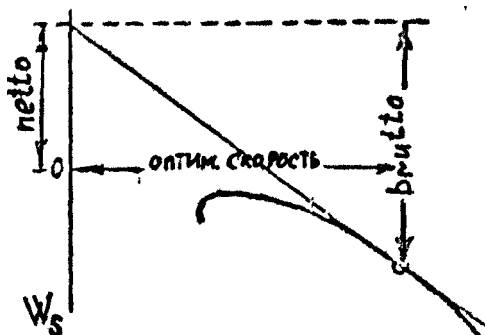
3). Электронный компенсированный вариометр полной энергии (10).

Два электронных вариометра (схема №6) соединяются по разному: вариометр 1 включается на статическое давление ($P_{ст.}$), поэтому является высотным вариометром. Он имеет двойную калибровку, т.е. измеряет временное изменение от $2P_{ст.}$. Вариометр 2 включается на суммарное давление $P_{стат.} + P_{дин.}$ и поэтому является высотно-скоростным вариометром. У него отрицательная калибровка, т.е. он измеряет временное изменение от $P_{стат.} - P_{дин.}$ (т.к. $2P_{стат.} - P_{стат.} - P_{дин.} = P_{стат.} - P_{дин.}$), также как и вариометры, компенсированные соплом.

с). НЕТТОВАРИОМЕТРЫ.

1) Нетто-вариометр без полноэнергетической компенсации.

Они указывают подъём и опускание воздуха (не планера) при постоянной скорости (установившееся движение).



Для того, чтобы получить такое «нетто-измерение», нужно постоянно вычитать из показаний вариометра собственное снижение планера W_s . При этом используется тот факт, что спуск по полярке скоростей растёт приблизительно по квадрату скорости. Так как динамическое давление возрастает соответственно квадрату скорости, можно по динамическому давлению достаточно точно откомпенсировать влияние собственного снижения по полярке почти во всем диапазоне скоростей планера.

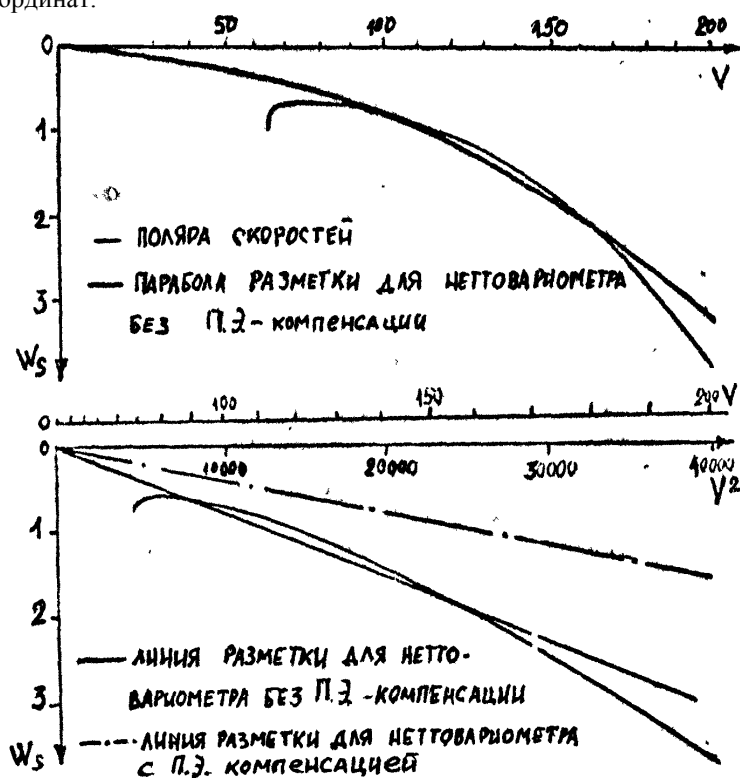
Для того, чтобы лучше разобраться в принципе работы нетто-вариометра, представим себе, что планер летит в спокойном воздухе. Благодаря собственному снижению W_s внешнее статическое давление постоянно растёт. В «нормальном» вариометре поэтому из-за статического давления воздуха постоянно течёт через измерительный прибор в выравнивающую ёмкость. На шкале соответственно этому будет видно снижение. Если мы в это время от общего давления $P_{стат.} + P_{дин.}$ по тонкому капилляру направим в выравнивающую ёмкость такое количество воздуха, которое «нормально» протекает через вариометр от статического давления, то давление в выравнивающей ёмкости повысится в равной мере со статическим давлением и показание будет поэтому равно «0», что соответствует как раз покоящемуся воздуху. Из «брутто-вариометра» получился «нетто-вариометр». В этом случае когда воздух движется вертикально, нетто-показания отличаются от брутто-показаний всегда на величину собственного снижения, т.е. прибор действует так, как и хотелось нам: он показывает вертикальные движения воздушной массы.

Значение калибровки капилляра.

Вполне понятно, что та воздушная масса, которая течёт через капилляр от полного давления в выравнивающую ёмкость, должна очень точно дозироваться. Слишком тонкий и длинный капилляр оказывает недостаточное компенсирующее действие. Таким образом, капилляр должен быть точно откалиброван. Он выполняется по-разному для различных поляр и, кроме того, зависит от величины выравнивающей ёмкости.

Так как динамическое давление возрастает пропорционально квадрату скорости, изменение показаний прибора, возникающее благодаря капилляру, берут также квадратичным, в форме параболы. Такая парабола, лучше всего соответствующая скоростной поляр, является основой для калибровки капилляра. Для того, чтобы быстро и точно построить параболу по поляр скорости, применяется следующий приём:

Если на оси V вместо путевой скорости нанести её квадрат (V^2), из скоростной поляр получится почти прямая линия, а каждая мысленная разметочная поляр будет представлять собой прямую, проходящую через начало координат.



Второй график проведен для оси V^2 , поэтому здесь квадратичная разметка значений V .

2). Нетто-вариометр с полноэнергетической компенсацией (11).

Полноэнергетически компенсированный нетто-вариометр указывает подъём и опускание воздушных масс также и во время изменения движения планера. Конечно, нетто-вариометр действительно необходим в первую очередь, так как он надёжно указывает подъём и опускание воздушных масс. Это достигается простым способом, если к нетто-вариометру вместо статического давления подключить компенсационное сопло. Однако, т.к. сопло даёт давление ($P_{стат.} - P_{дин.}$), а перед капилляром приложено полное давление ($P_{стат.} + P_{дин.}$), разница в давлении на капилляре удвоилась. В этом случае капилляр тарируется соответственно иначе: если тарировочная конструкция не изменяется, линия тарировки на графике обозначена штрих пунктирной прямой. Она проводится просто делением пополам

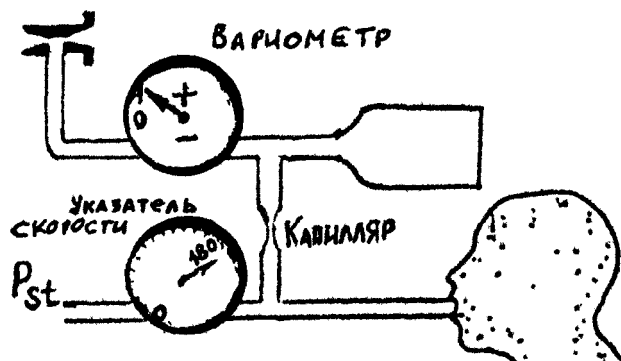
значений W_s при тех же величинах V^2 .

Ошибки показаний нетто-вариометра, обусловленные тарировочной кривой.

Разница между полярной скорости и линией тарировки даёт ошибку указателя, которая является принципиальной ошибкой нетто-вариометра. Для планера «АСВ-15» в диапазоне скоростей полета до 88 км/час к заниженным показаниям вариометра по сравнению с соответствующим фактическим вертикальным движением воздушных масс, т.к. поляра не очень ровная. От 90 до 160 км/час нетто-вариометр укажет значения смещённые в сторону подъёма. Выше 160 км/час он снова показывает слишком мало. Эти ошибки оцениваются в поляре скоростей планирования «АСВ-15» в диапазоне от 80 до 170 км/час до ± 15 см/сек. Они достаточно малы, поэтому ими можно пренебречь в работе с нетто-вариометром.

Проведение тарировки капилляра.

Полёт имитируется без больших потерь, т.к. планер при тарировке стоит на земле.



На рисунке схематически показана тарировка нетто-вариометра с полноэнергетической компенсацией. Такой полёт в действительности возможен лишь в том случае, если воздушная масса поднимается со скоростью, соответствующей спуску по поляре, т.е. нетто-вариометр при этом будет показывать эту величину подъёма воздушной массы. Мы должны таким образом дуть в измерительный шланг общего давления, чтобы вызывать определённые показания на указателе скоростного напора. Если стрелка вариометра успокоилась и «надутое» значение скорости аккуратно стоит на желаемой величине, правильно оттарированный нетто-вариометр должен указать значение подъёма, соответствующее тарировочной линии в точке имитируемой скорости. Для вариометра без полноэнергетической компенсации (планер «АСВ-15» при скорости 160 км/час будет иметь подъём до +2 м/сек.

Если вариометр с полноэнергетической компенсацией, то подъём будет соответственно в половину меньше (1м/сек), т.к. подавливание в сопле имитировалось в данном опыте. В качестве капилляра целесообразно использовать медицинские трубчатые капилляры от термометра из стекла с внутренним диаметром 0,3 мм. Если указываемое значение подъёма слишком мало, нужно так укоротить капилляр, чтобы значение подъёма точно согласовывалось с тарировочным графиком. Длина капилляра для вариометров с выравнивающей ёмкостью около 0,45 литра для компенсированного нетто-вариометра составляет от 8 до 15 см. При больших объёмах выравнивающей ёмкости капилляр будет короче. Если мы оттарировали капилляр по одной такой паре значений «скорости-подъёма», то он автоматически годиться для всех других пар значений. Сам процесс тарировки таким образом довольно прост.

Калькулятор Мак-Креди для нетто-вариометра.

Пара значений нетто-спуска и соответствующей ему скорости берется из поляры скоростей так же, как и для обычного вариометра. Значения нетто-спуска (или нетто-подъёма) соответствуют при этом W_m , т.е. это нулевая точка, отмеренная от скоростной оси координат (а не от поляры). Значение для нетто-спуска, равное «0» (соответствующее экономической скорости планирования), это установочное деление калькулятора, которое в зависимости от обстоятельств устанавливается на значение ожидаемой величины скороподъёмности (брутто-подъёма).

Преимущества и недостатки нетто-вариометра.

Так как тарировка нетто-вариометра проводится по выпрямленной поляре, то в случаях, когда планер летит не по поляре, его показания не соответствуют вертикальным движениям воздушных масс. Это бывает при не координированных движениях рулями, при изменении нагрузки на крыло, а также при полёте по спирали. Если увеличенное значение собственного снижения планера даже незначительно не компенсируется капилляром, то нетто-вариометр показывает значение, более или менее отодвинутое в сторону спуска. Таким образом, применимость нетто-вариометра остаётся ограниченной прямолинейным полётом без скольжения. Это без сомнения большой недостаток.

К преимуществам можно отнести то, что с помощью нетто-вариометра можно легко представить процессы погоды. Другое преимущество состоит в том, что при входе в область снижения скорость, указываемая калькулятором Мак-Креди, не завышается, в то время как при наборе скорости стрелка полноэнергетического брутто-вариометра опускается ниже соответственно поляре и вместе с этим повышается показываемая оптимальная скорость. Соответствующее явление имеет место также и для полёта в области подъёма.

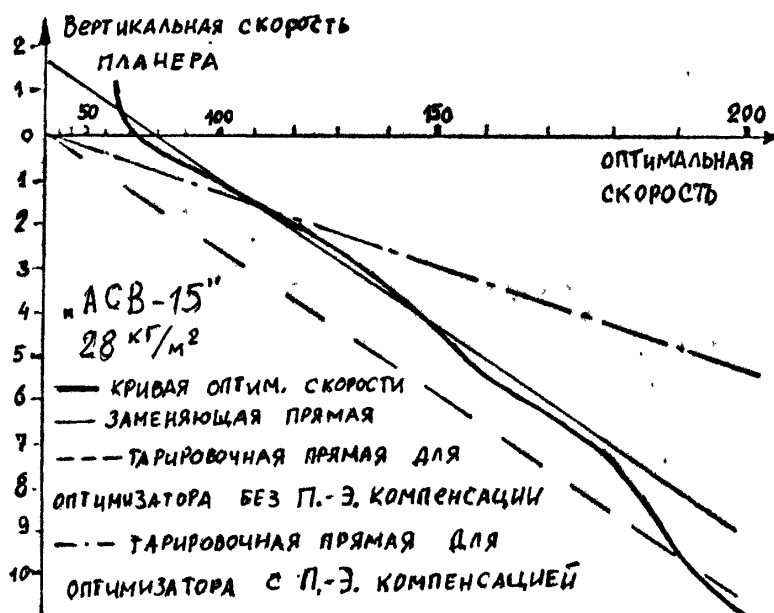
д). ВАРИОМЕТР ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ (11), (ДАТЧИК ОПТИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ПО БРЮКНЕРУ).

Полноэнергетический компенсированный вариометр оптимальной траектории показывает такое значение подъёма, которому соответствует имеющаяся скорость в качестве оптимальной. Точнее говоря, мы могли бы назвать такой прибор «полноэнергетически компенсированным вариометром необходимой скороподъёмности». Для того, чтобы легче представить принцип работы вариометра оптимальной траектории, рекомендуется хорошо проработать изложенное ниже описание нетто-вариометра,

Показания нетто-вариометров обычно являются совершенно иными, чем показания вариометров оптимальной траектории в том же случае, хотя техническое устройство приборов одинаковое с точностью до капилляров, тарированных по различным принципам.

Принцип действия, тарировка.

При полёте по оптимальной траектории для каждой величины снижения планера существует определённая оптимальная скорость.



Голубая кривая оптимальной скорости на графике (с квадратичной разметкой оси скоростей!) показывает значения оптимальных скоростей перехода для ожидаемого подъёма 0 м/сек (эти значения соответствуют значениям Мак-Креди для обычного варианта).

По изложенному выше определению вариометра оптимальной скорости, он в этом случае неизменно должен показывать «0», независимо от того, в какой точке кривой оптимальной скорости мы летим. Для этого в вариометре оптимальной скорости голубая кривая должна проходить через «0». Эта кривая оптимальной скорости прежде всего должна быть «заменена» на близкую ей прямую, которая, однако, часто не проходит через нулевую точку. Как она приводится к нулю?

Это приведение к нулю проводится в два этапа:

1). Мы переставляем нулевое положение стрелки вариометра в направлении спуска на величину, на которой заменяющая прямая пересекает ось вертикальных скоростей – в данном случае на 1,6 м/сек (см. рисунок выше).

Для распространенных в Германии флажковых вариометров эта перестановка возможна простым способом на центральном диске после снятия лицевого стекла, однако ради безопасности это может сделать лучше завод изготовитель. Если же конструкция применяемых вариометров не позволяет такой перестановки, то значения скороподъёмности могут быть изменены на шкале. Благодаря перестановке стрелки или шкалы, мы достигаем того, что заменяющая прямая сдвигается так, что проходит через нулевую точку (красная штриховая линия).

2). Эта красная штриховая линия благодаря точно тарированному капилляру подобно тому, как это сделано в

нетто-вариометре, приводится к нулю. Если, однако, при изменениях режима полёта наш вариометр даёт забросы в показаниях, мы подключаем его к компенсационному соплу полной энергии (как в случае компенсированного вариометра полной энергии) и тарируем капилляр на половинные значения соответственно штрих-пунктирной линии (в нашем случае, например, скорости 167 км/час и отклонению стрелки вариометра 3,6 м/сек, соответствует по установке стрелки $3,6 - 1,6 = 2$ м/сек ожидаемой скороподъёмности).

Способ тарирования капилляра здесь такой же, как и в случае нетто-вариометра. Для тех, кому этот способ тарирования кажется, недостаточно логично объяснённым, можно предложить следующее более точное описание: при тарировке мы имитируем полёт без изменения высоты и надуваем определённое значение скорости, которая в действительном полёте получится только при подъёме, соответствующем ожидаемому. Для планера «АСВ-15» в полёте без изменения высоты скорость 167 км/час получается при ожидаемом подъёме 5,6 м/сек (заменяющая прямая, отмечена красными штрихами).

Благодаря перестановке нулевого положения вариометра, он теперь всегда будет показывать – 1,6 м/сек. Таким образом, капилляр должен воздействовать к перемещению стрелки в направлении подъёма в сумме на $5,6 + 1,6 = 7,2$ м/сек. Это требует тарирования на половину суммарного перемещения стрелки, так как поддавливание сопла не приплюсовывается. В качестве вариометра оптимальной скорости лучше использовать прибор с пределами 8-10 м/сек или 5 м/сек. В случае чувствительного вариометра с большой выравнивающей ёмкостью можно для этой цели подключить четверть соответствующей ёмкости и сделать, например, из крылышкового вариометра до 2 м/сек вариометр до 8 м/сек, который лучше подходит для применения в качестве вариометра оптимальной скорости.

Погрешности показаний вариометра оптимальной скорости, обусловленные тарировкой.

Так как заменяющая прямая не точно согласуется с кривой оптимальной скорости, возникают ошибки в показаниях прибора. Для планера "АСВ - 15" в диапазоне оптимальных скоростей от 68 до 180 км/час это приводит к отклонениям в скорости не более 4 км/час. Это настолько мало, что из-за этого не возникает заметной ошибки в определении скорости перехода. Однако отклонения около 15 км/час в области 200 км/час являются уже околокритическими.

ВАРИОМЕТР ОПТИМАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ В ПОЛЁТЕ.

1). Прямолинейный полёт.

Если лететь с оптимальной скоростью, то стрелка постоянно показывает величину ожидаемого подъёма, независимо от изменений скорости полёта. Если стрелка опускается ниже этого значения, значит, мы лети слишком медленно, если же поднимается выше – значит мы летим слишком быстро. Если показания вариометра вопреки восстанавливающему движению ручки на уменьшение скорости остаются выше значения ожидаемого подъёма, то имеет смысл встать в спираль. Если наш вариометр электронный, то подключив наушники, мы достигаем правильных значений скорости посредством удержания постоянной высоты звукового тона. Если высота звукового тона падает – увеличиваем скорость, если растёт уменьшаем. Если тон вопреки движению рулей остается слишком высоким, то становимся в спираль. Двухтоновые наушники с постоянным и прерывистым тоном рекомендуется настроить так, чтобы предел прохождения прерывистого тона достигался точно на ожидаемой скороподъёмности.

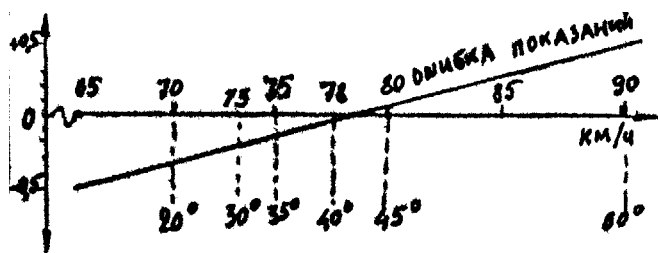
2). Полёт по спирали.

При наборе высоты в спирали вариометр оптимальной скорости теряет своё первоначальное значение. Теперь нам нужен вариометр подъёма-спуска с полноэнергетической компенсацией, как например, полноэнергетический брутто-вариометр, чтобы центрироваться в восходящем потоке и иметь возможность оценить скороподъёмность планера.

Чем, однако, отличаются показания вариометра оптимальной скорости от соответствующих им показаний компенсированного брутто-вариометра?

Отличия имеются, с одной стороны - в установке нуля, и, с другой стороны - в отклонении стрелки благодаря воздуху, протекающему через капилляр. Оба этих отличия дают ошибочные показания, получаемые от изготовления вариометра по заменяющей прямой, проходящей по графику тарирования вариометра. Для ясности можно было выделить здесь диапазон скоростей полёта в восходящем потоке. Мы видим, что на скорости 78 км/час соответственно тарированный вариометр оптимальной скорости показывает те же значения, что и полноэнергетический брутто-вариометр. От 78 до 90 км/час вариометр оптимальной скорости (оптимизатор) показывает дополнительный излишний подъём (до 0,5 м/сек). От 78 км/час до минимальной скорости стрелка стоит слишком низко (до 0,5 м/сек). Все оптимальные режимы спиралей с креном до 60 градусов входят в диапазон скоростей до 90 км/час (для планера "АСВ-15" с нагрузкой на крыло 28 кг/м.кв.). Если мы хотим использовать вариометр оптимальной скорости для полёта в спирали, рекомендуется заменяющую прямую тарирования при замене расположить таким образом, чтобы она пересекала ось скоростей в той области скоростей, на которых чаще всего выполняются спирали.

Мы видим, что хотя в случае необходимости наш вариометр оптимальной скорости может быть настроен на полёт в спирали, он даёт точные показания только на скорости, соответствующей собственному снижению планера, установленному тарировкой. Более точное решение можно получить, встроив в систему вариометра переключатель, изменяющий производительность капилляра. Тогда из вариометра оптимальной скорости получится полноэнергетический брутто-вариометр, для чего соответственно необходимо переместить и шкалу (вследствие чего произойдёт перестановка нуля).



На рисунке изображён график ошибок показаний для случая использования вариометра оптимальной скорости на спирали.

Преимущества и недостатки вариометра оптимальной скорости.

Кроме несколько затруднённой применимости вариометра оптимальной скорости на спирали, требующей переключателя капилляра, основные его недостатки те же, которые возникают в аналогичных системах: полноэнергетическом брутто-вариометре, калькуляторе Мак-Креди, указатели скорости. Пожалуй, особенно большими его ошибками являются ошибки на высоте, ошибки забросов показаний, а также ошибочные показания при изменении нагрузки на крыло. Вариометр оптимальной скорости может быть установлен на планер и с переменной нагрузкой на крыло при возможности его переключения на капилляры различной тарировки (если отказаться от равномерного изменения установки нуля). Большое преимущество оптимизатора состоит в том, что этот прибор при полёте на оптимальных скоростях выполняет функции двух приборов, используемых прежде для оптимизации траектории (скорости) – полноэнергетического брутто-вариометра с кольцом Мак-Креди и указателя скорости. Т.е. теперь достаточно одного взгляда на оптимизатор, чтобы определить - оптимальна ли скорость, а при использовании звукового вариометра на эти приборы можно не смотреть вообще! Указатель скорости может выпадать из поля зрения пилота и использоваться только во время старта, приземления и в других особых ситуациях. За выдающуюся идею вариометра оптимальной скорости планеризм благодарен физику Эгону Брюкнеру. Он разработал также нетто-вариометр, правда, не зная, что задолго до него этот принцип предложил Пауль Мак-Креди. Вариометр оптимальной скорости принёс такие далеко идущие преимущества, что он, подобно тому, как в своё время кольцо Мак-Креди, совершенно революционизировал приборное оснащение нашего планера. Прежде всего следует только понять принцип действия оптимизатора, изготовление же его очень просто.

Включение капилляра на статическое давление вместо динамического.

Также, как и полноэнергетический компенсированный нетто-вариометр, так и вариометр оптимальной скорости может быть подключён иначе. Если вместо полного давления $P_{полн.}$ подключить к капилляру $P_{ст.}$ (см. схему №11), то в полёте по обеим сторонам капилляра имеется разница давлений $1 \times P_{дин.}$. Включенный таким образом вариометр, затем тарируется таким же образом, как описано выше (с тем отличием, что капилляр включается на полное, а не на половинное значение проходящей через ноль заменяющей прямой). Изготовленный таким образом вариометр имеет более короткий капилляр, что влияет на точность компенсационного сопла, однако вдвое чувствительнее.

КОМПАС - (12,13,14).

Ошибки показаний компаса.

Магнитные силовые линии земли далеко не везде совпадают с географическим направлением север-юг. Магнитное склонение (горизонтальное отклонение компаса от географического меридиана) от места к месту различное. Оно наносится на навигационные карты, мы можем учесть его при расчёте курсов. Существует также магнитное наклонение - отклонение магнитных силовых линий вниз (в Германии около 68°). В зависимости от положения компаса и конструкции компаса оно может приводить к отклонениям показаний компаса ("ошибкам поворота").

Девияция - это отклонение стрелки, вызванное конструкцией компаса, или вблизи металлических частей. Оно может быть скомпенсировано путём выбора места установки компаса, или подвески к компасу компенсаторов. Если полная компенсация невозможна, то на корпус компаса наносится график поправок (график остаточной девииции).

Ошибки поворота компаса (обусловленные магнитным наклонением).

В последующем магнитное склонение и девиация компаса не рассматриваются, т.е. принимаются равными нулю. Для того, чтобы избежать "ошибок поворота", были сконструированы –«компас Кука» и полнокарданный компас, сбалансированные по массам.

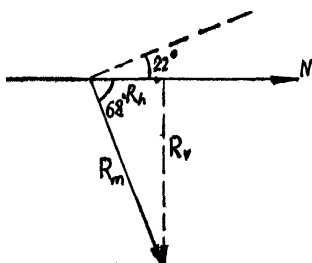
КОМПАС КУКА (13).

Этот компас закреплён на оси, вращающейся вдоль поперечной оси планера и может свободно колебаться вокруг поперечной оси. Сам магнит жестко закреплён на вертикальной оси, взятой в неподвижные подшипники. Если в полёте что-то произойдёт, компас всегда сбалансируется по горизонту (в слепом полёте - по искусственному горизонту) и магнитная стрелка будет вращаться только в горизонтальной плоскости.

ПОЛНОКАРДАННЫЙ МАССОУРАВНОВЕШЕННЫЙ КОМПАС (14).

Этот компас имеет то преимущество, что его магнит имеет возможность всегда устанавливаться вдоль магнитной силовой линии. Чтобы правильно снимать визуальные показания, всё-таки необходимо корпус компаса, а вместе с ним и шкалу устанавливать в равновесное положение. Таким образом, этот компас всё равно вращается вокруг продольной оси планера и при соответствующих условиях не имеет ошибок вращения. Свободно подвешенный магнит имеет преимущества для определения положения в слепом полёте, а также в случаях, когда он установлен не горизонтально.

Все другие магнитные компасы (12), в которых магниты могут быть уравновешены только в установившемся прямолинейном полёте (благодаря тому, что центр тяжести вращающейся массы находится ниже точки подвески), допускают "ошибки вращения" в зависимости от положения планера:



На рисунке показана магнитная направляющая сила в средней Европе, где

N – географическое направление на север,

R_m – направляющая сила земного магнетизма,

R_h – горизонтальная составляющая этой силы,

R_v – вертикальная компонента.

1). Прямолинейный полет.

Предположим, что мы летим на север.

- Установившийся полёт.

Горизонтально стоящая стрелка компаса направляется благодаря компоненте направляющей силы **R_h**, которая намного меньше, чем суммарная сила **R_m**.

- Во время снижения (при отрицательных углах тангажа планера), прежде всего, наклоняется картушка компаса, благодаря чему увеличивается компонента направляющей силы, отклоняющей стрелку.

- Во время набора (при положительных углах тангажа) картушка отклоняется в противоположном направлении, компонента направляющей силы уменьшается до тех пор, пока не станет равна нулю на предельном угле картушки (в нашем случае 22°). При дальнейшем увеличении угла наклона картушки, она перебросится на юг.

- Вращательное движение вокруг продольной оси планера влево (левый крен):

До того, как картушка компаса начнёт вращаться, вертикальная компонента магнитной направляющей силы **R_v** имеет преимущество, магнит указывает влево вниз. Связанная с ним шкала компаса (картушка) движется, таким образом, вправо и указывает слишком большой курс (например, 30°).

- Вращательное движение вправо ведёт к отклонениям показаний в направлении на запад. Полёт в направлении S, W, O (юг, запад, восток) при снижении, наборе и вращении ведёт также к отклонениям, исходя из аналогичных принципов. Для того, чтобы не потерять ориентировку из-за различных отклонений, рекомендуется ясно представлять, что направляющая магнитная сила в наших широтах постоянно направлена на север-вниз.

Для большей ясности приведена следующая таблица:

ПОКАЗАНИЯ КОМПАСА В ПРЯМОЛИНЕЙНОМ ПОЛЁТЕ.

Вид полёта	N	S	O	W
Снижение	R	(R)	роза через лево →N	роза через право →N
Набор	(R)	R	роза через право →S	роза через лево →S
Вращение влево	роза через право →O	роза через лево →O	(R)	R
Вращение вправо	роза через лево →W	роза через право →W	R	(R)

Направляющая сила: **(R)** = неустойчивая (слабая);
R = стабильная (сильная).

Для промежуточных курсов действуют отклонения основных курсов совместно в сторону ухудшения. Для того, чтобы избежать ошибок в прямолинейном полёте, нужно после вращения вокруг продольной и поперечной осей выждать, по крайней мере, секунд 5, пока картушка компаса не установится в горизонтальном положении. Затем следует определить компасный курс без ошибок вращения.

2). Спираль.

В установившейся спирали картушка компаса становится перпендикулярно к результирующей веса и центробежной силы. Величина направляющей силы, действующей на нашу стрелку (магнит), зависит от величины угла между направляющей силой земного магнетизма и плоскостью картушки компаса. При крене 22° поэтому в левой спирали показание на «восток» стабильно и удерживается долго, «север» показывается поздно, показание «запад» неустойчиво, «юг» показывается слишком рано. Если мы хотим в течение всей спирали получать правильные равноценные показания, то мы должны выполнять спираль с очень малым креном. На скорости 80 км/час с креном 13° (докритический крен) картушка передвигается на 6° в секунду.

Показания компаса на спирали

Левая спираль, направление будет указываться на:	ВОСТОК, стабильно	СЕВЕР, 30° позднее	ЗАПАД, неустойчиво	ЮГ, 30° раньше
Правая спираль, направление будет указываться на:	ЗАПАД, стабильно	СЕВЕР, 30° позднее	ВОСТОК, неустойчиво	ЮГ, 30° раньше

Отсюда следует запомнить несколько правил использования компаса в нормальном визуальном полёте:

- 1). Север всегда указывается слишком поздно, а юг – слишком рано.
- 2). В левой спирали будут стабильными показания «на восток», а в правой «на запад».
- 3). Выход на курс:

На северные направления выходить раньше, на южные направления выходить позже (N и S направления – на 30°, промежуточные – соответственно меньше).

ПОЛЁТ В ОБЛАКАХ (в Германии только по разрешению BFS):

Для корректировки в «слепом полёте» в соответствии с желаемым курсом (изменением курса) следует знать:

1 сек отклонения ручки вбок, даёт примерно 10° изменения курса. 5 секунд - 30°. Спираль с удвоенным креном (2 деления на авиагоризонте). 26° градусов крена (околокритический крен) на скорости 80 км/час дают поворот компаса 12°/сек.

Левая спираль:	O	N	W	S
Направление указателя	Стабильно O → $\underbrace{N \rightarrow O \rightarrow S}_{\text{быстро пробегает}}$ → O			

Правая спираль:	O	N	W	S
--------------------	---	---	---	---

Направление указателя	Стабильно W → $\underbrace{N \rightarrow W \rightarrow S}_{\text{быстро пробегает}} \rightarrow W$
-----------------------	--

Левая спираль: восток, проходя через юг – правильно.

Правая спираль: запад, проходя через юг – правильно.

Картушка компаса в левой спирали должна вращаться влево, в правой – вправо.

Выход на курс:

Или: от точного показания (О или W) выйти на курс.

1 сек = 12° (крен = 2 деления ≈ 26°)

	начало	+ 7,5 сек	15 сек	22,5 сек
Левая спираль	О	N	W	S
Правая спираль	W	N	O	S

Затем уменьшить крен на одно деление и выйти на уточнённый курс. 1 сек = 6°.

УКАЗАТЕЛЬ ПОВОРОТА (15).

Сила прецессии вращающегося гироскопа воздействует на отклоняющийся маятник до тех пор, пока планер вращается вокруг вертикальной оси. Если планер медленно вращается всё круче, то последствия воспринимает, прежде всего, указатель поворота, чтобы выдать определённый угол крена.

В экстремальном случае на спирали с креном 90° отклонение указателя поворота снова было бы равно 0°, т.к. вращение вокруг вертикальной оси больше не воспринимается. Этот факт может привести к ошибке неопытного пилота, который, выполняя спираль в облаках, может допустить перегрузку, опасную для конструкции планера.

ОШИБКИ АНЕРОИДНО-МЕМБРАННЫХ (ПНЕВМАТИЧЕСКИХ) ПРИБОРОВ.

1). Высотомер и барограф.

Так как это приборы, измеряющие давление воздуха, то их показания зависят от атмосферных условий. Если, к примеру, давление воздуха уменьшается благодаря приближению циклона или из-за полёта в направлении области низкого давления, то при одинаковой высоте измеряется уменьшающееся давление. Высотомер показывает слишком много, на самом деле мы ближе к земле, чем показывает высотомер (действуем «идя от высоты к глубине»).

Тёплый воздух имеет больший объём, чем холодный. При одинаковом давлении воздуха у земли тёплая атмосфера горячего летнего дня, поэтому реже, чем зимой. Её воздушное давление с высотой уменьшается также медленнее. Мы летим в жаркий день выше, чем показывает наш высотомер, т.к. он тарирован на стандартную атмосферу (15°С на уровне моря).

Температурную погрешность показаний высотомера можно рассчитать по приближённой формуле:

$$h = h_A + \frac{h_A}{100} \cdot 0,4(t - t_s)$$

Где **h** – фактическая высота,

h_A - показания высотомера,

t - средняя температура в слое «земля-высота полёта в стандартной атмосфере (°С)».

На один градус отклонения средней температуры воздушного слоя «земля-высота полёта» приходится отклонение показаний высотомера на 4%.

При температуре 35°С и градиенте её во время полёта примерно 1°/100 метров (уменьшение температуры на единицу увеличения высоты). 1000 метров фактической высоты (высота старта на соревнованиях!) на высотомере кажется как 920 метров. Это необходимо учитывать не только при старте, но и при финише.

2) Указатель скорости.

Измеритель скоростного напора измеряет на равных скоростях полёта при малой плотности воздуха большей высоты меньшее фактическое давление и показывает, таким образом, меньшую скорость. Фактическая скорость выше, чем приборная. Так как при равной высоте тёплый воздух имеет меньшую плотность, чем холодный, то и для

указателя скорости температура играет определенную роль. Истинная скорость определяется из приборной по

$$\text{формуле: } V = V_A \cdot \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}};$$

где V – фактическая скорость;

V_A – приборная скорость,

ρ_0 – плотность воздуха на которую тарируется прибор (нормальная стандартная атмосфера на высоте NN, т.е. 1013 мб, 15°C),

ρ – фактическая плотность воздуха.

Диаграмма для определения истинной воздушной скорости по показаниям прибора, приведенная в конце книги, даёт величину погрешности показаний.

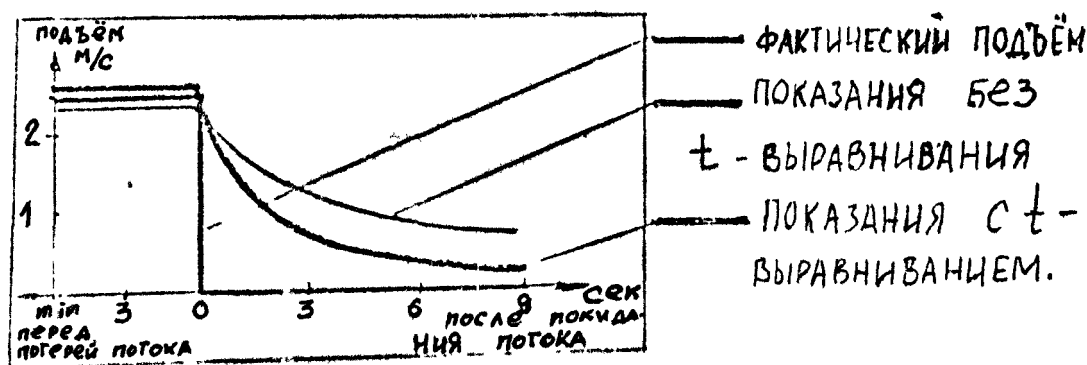
Для точности здесь надо напомнить, что аэродинамика нашего планера определяется скоростью, которую показывает указатель скорости. Поэтому мы летим правильно, если на большой высоте придерживаемся соответствующих показаний указателя скорости, истинная же скорость остаётся теоретическим значением. То и другое относится как к минимальным, так и к максимальным скоростям.

3) Вариометр.

Изменение показаний из-за отклонений температуры выравнивающего воздуха.

Показания «подъёма» на вариометре вызываются в принципе тем, что воздух из выравнивающей ёмкости выходит в сторону уменьшающегося внешнего давления. При этом он адиабатически охлаждается. Это снова ведёт к тому, что выравнивающий воздух выходит слишком медленно (так как холоднее), поэтому вариометр даёт уменьшенное значение подъёма. Когда фактический подъём прекращается, то стрелка вариометра сначала движется вниз, к нулю. Однако стенка выравнивающей ёмкости, остающаяся почти такой же тёплой, снова медленно нагревает выравнивающий воздух. Из-за этого выравнивающий воздух расширяется, течёт через вариометр и вызывает показания подъёма. Этот процесс длится около 20 секунд и существенно затягивает показания вариометра. Устранить это запаздывание можно простым и элегантным способом. Для каждой выравнивающей ёмкости берут 3-5 медных ребер и выставляют их наружу – готово!

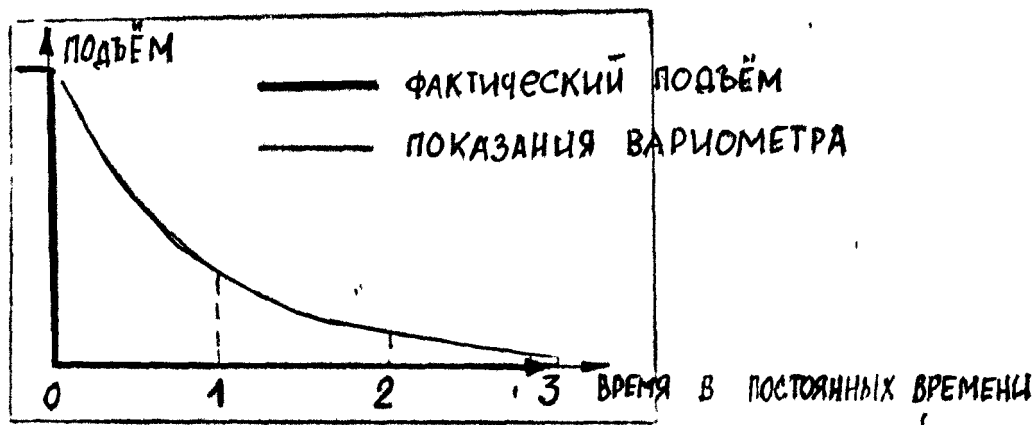
Благодаря этому температура выравнивающего воздуха в дальнейшем поддерживается такой, что подавляет все запаздывания. В результате быстрота изменения показаний увеличивается и показания становятся точнее.



На рисунке изображён график изменения показаний вариометра без температурного выравнивания и с ним (измерения Вольфа Эльбера). Вариометр без рёбер показывает через 9 секунд после выхода из потока такое же значение, как «температурно-выровненный» вариометр через 3 секунды, т.е. первый втрое «медлительнее».

Постоянная времени.

Даже когда в вариометре имеется температурное выравнивание, он реагирует с запаздыванием на изменение подъёма. Поэтому в измерительной технике говорят о постоянной времени. Постоянная времени – это время, необходимое прибору после резкого изменения, чтобы он начал показывать значение в $1/e = 0.368$, от общего изменения. Точнее говоря, прибор никогда не показывает полного значения, так как ему снова и снова нужно время для того, чтобы от остающейся 37%-й ошибки через ещё одну постоянную времени указать 63% и т.д. Это типичный для вариометра процесс измерения показан на следующем графике:



Чем быстрее показывает вариометр, тем короче его постоянная времени. Постоянная времени анероидного вариометра лежит в целом значительно выше соответствующей постоянной крылышкового вариометра. Приборы одинаковой конструкции, различающиеся только различными шкалами и различными выравнивающими ёмкостями, имеют приблизительно одинаковые постоянные времени. Возвращающая сила стрелки крылышкового вариометра имеет особенное значение для скорости изменения показаний.

ВЫСОТНЫЕ ОШИБКИ ВАРИОМЕТРОВ.

В зависимости от того, измеряет вариометр, можно различать вариометры, измеряющие объём и измеряющие массу. Объёмизмеряющие вариометры, такие, как анероидный вариометр, крылышковый вариометр, крутильно-ленточный вариометр и электронные вариометры на базе анероида не имеют высокой погрешности, так как на каждой высоте при одинаковом подъёме через капилляр протекает одинаковый объём воздуха. Таким образом, этим показывается геометрически измеряемый объём. Однако для выбора оптимальной скорости эти показания не подходят, т.к. такой прибор, как мы увидим позднее, всё равно приводит к ошибкам в оптимальной скорости на больших высотах.

Массоизмеряющие вариометры измеряют вытекающую массу воздуха (обычно путём охлаждающего действия выравнивающего воздушного потока). Масса, однако, может быть меньше при одинаковом объёме прошедшего воздуха и меньшем давлении. Эти вариометры (чаще всего электронные вариометры, основанные на этом принципе) с ростом высоты показывают меньшие значения подъёма и спуска. Это бывает также при высокой температуре воздуха которая приводит к уменьшению его плотности.

Истинную вертикальную скорость можно получить из показаний вариометра по формуле: $W = W_A \cdot \frac{\rho_0}{\rho}$;

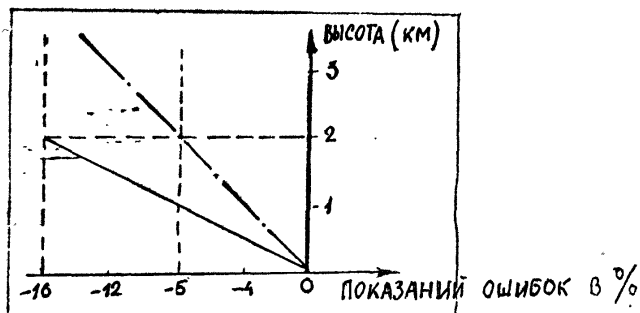
где W — фактическая вертикальная скорость;

W_A — показания вариометра,

ρ_0 — плотность воздуха на которую тарирован,

ρ — фактическая плотность воздуха.

Отсюда напрашивается сравнение с ошибками показаний указателя скорости. К сожалению, величины ошибок отличаются из-за квадратного корня. Это ведёт к тому, что эти вариометры ведут к ошибкам в определении оптимальной скорости. Если иногда можно пренебречь влиянием температуры, то для вариометра и указателя скорости получаются величины ошибок, изображенные ниже на графике:



где — — — — — ошибки измерения скорости,

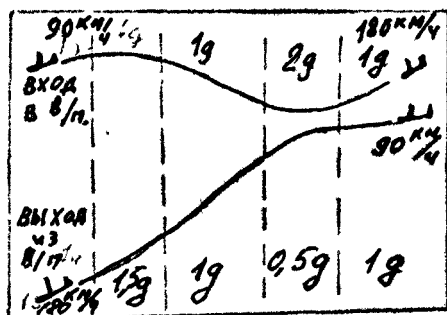
————— объёмноизмеряющие вариометры (без ошибок)

————— массоизмеряющие вариометры.

ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАНИЙ ВАРИОМЕТРОВ ПОЛНОЙ ЭНЕРГИИ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ.

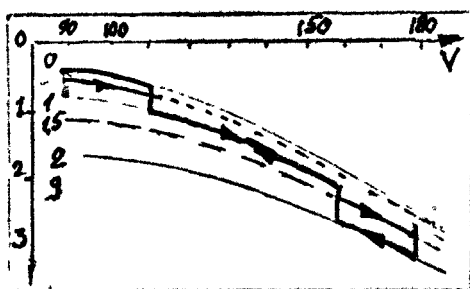
Если в полёте сильнее потянуть за ручку, то повысится нагрузка на крыло нашего планера.. Если он перенесёт полученную воздушную нагрузку, то повысится подъёмная сила и в равной мере перегрузка. Это, конечно, не проходит без потерь, т.к. мы с дачей ручки «на подъём» повышаем не только подъёмную силу, но и лобовое сопротивление. При каждой скорости в установившемся планирующем полёте планер обладает определённой потерей энергии в единицу времени. Эта потеря определяется как $(\text{полётный вес}) \times (\text{скорость спуска})$. Если принять полётный вес за 1(единицу), то можно изобразить поляру скорости как полноэнергетическую поляру. Для повышенной потери энергии при некоторой повышенной перегрузке полноэнергетическая поляра будет другой.

Таким образом, показания полноэнергетического вариометра, который, кстати, измеряет изменение суммарной энергии, зависят от перегрузки планера. Приведём здесь два примера, как всё происходит в оптимальном полёте при входе в восходящий поток и выходе из него.



Перегрузки
в ОПТИМАЛЬНОМ
ПОЛЁТЕ

На рисунке изображена перегрузка планера на различных участках траектории. Мы видим, что при входе в восходящий поток изменение перегрузки, конечно, значительно, чем при выходе из него. На следующем графике показано, что будет показывать в этих случаях безукоризненно функционирующий полноэнергетический вариометр.

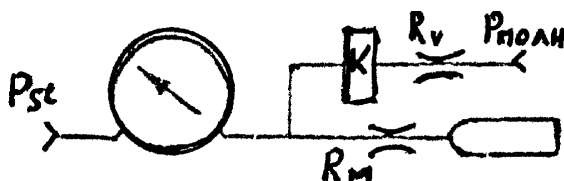


ПОКАЗАНИЯ ВАРИОМЕТРА
ПРИ ВЫХОДЕ ИЗ В/п.
ПОКАЗАНИЯ ВАРИОМЕТРА
ПРИ ВХОДЕ В В/п.

Когда тянут ручку на себя (2g), показания падают, в наборе с перегрузкой 1g, стрелка снова подпрыгивает на значение первоначальной поляры и уменьшается в соответствии с постоянным уменьшением скорости. Невесомость (0g) заставляет стрелку снова подняться, пока при перегрузке 1g показания не перейдут к первоначальной поляре. Эти скачки стрелки вариометра, являющиеся, правда, ошибками вариометра, всё-таки мешают в оптимальном полёте. Например, во время входа в восходящий поток с помощью полноэнергетического вариометра можно только тогда оптимально изменять скорость, когда отклонения от нормальной перегрузки в 1g будут "отработаны" ручкой (усугублены). Если угол подъёма или спуска долго остаётся одинаковым, (а также если изменяется скорость), скачков показаний не возникает, т.к. перегрузка остаётся равной 1g.

ВРЕМЕННОЕ УРАВНИВАНИЕ ПОЛНОЭНЕРГИТИЧЕСКИХ ВАРИОМЕТРОВ, КОМПЕНСИРОВАННЫХ ИНАЧЕ, ЧЕМ СОПЛОМ.

Все приспособления для компенсации, воспринимающие изменения высоты и скорости не в одном месте, как сопло, должны быть выровнены с тем, чтобы добавка скорости воздействовала не позднее и не раньше, чем подъем, что достигается путем увеличения сопротивления потоку в соответствующей проводке (уменьшением сечения проводки в форме 1-мм-вой трубочки переменной длины).

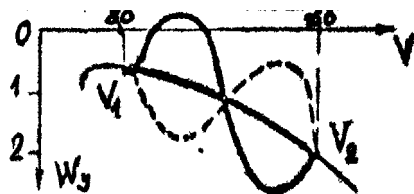


K – компенсатор;

R_V – проточное сопротивление для компенсации (влияние скорости);

R_M – проточное сопротивление для выравнивающей ёмкости.

К сожалению, уравнивание (синхронизацию) можно испытать только в полете: мы набираем скорость в спокойном устойчивом воздухе, (по возможности избегая движений ручкой). Во время увеличения скорости стрелка идеального вариометра отслеживает значение спуска, соответствующее поларе скоростей. Вариометр планера «АСВ-15» должен, таким образом, при увеличении скорости от $V_1=80$ км/час до $V_2=160$ км/час, показывать продолжительно увеличивающийся спуск от 0,6 до 3,4 м/сек. Если влияние скорости действует слишком рано, то стрелка вариометра идёт сначала на «подъём», а сразу после этого показывает слишком большой спуск.



На рисунке изображён график поведения стрелки при нарушенном временном выравнивании, где:

- ————— показания идеального вариометра при увеличении и уменьшении скорости;
- влияние скорости (компенсации) действует слишком рано → сопротивление потоку **R_V** усилить;
- - - - - изменение высоты (статическое давление) воздействует слишком рано → усилить сопротивление **R_M**.

При уменьшении скорости возникают одинаковые ошибки, но в другую сторону (красная кривая на графике, [относительно цвета см. замечания в начале второй части](#)). Добиваются благодаря сопротивлению потоку **R_V**. Если же, наоборот, воздействует слишком быстрое влияние высоты (голубая пунктирная линия), то выравнивание осуществляется благодарястройке сопротивления потоку **R_M**. Сможет ли встроенное сопротивление дать правильные показания вариометра, снова показывает опыт в спокойном воздухе.

НАСТРОЙКА РЕГУЛИРУЕМОГО КОМПЕНСАТОРА ПОЛНОЙ ЭНЕРГИИ.

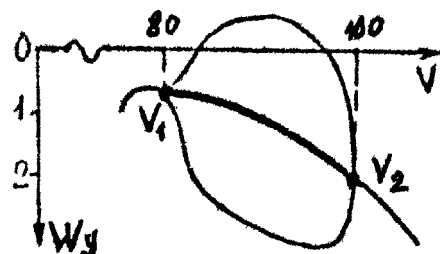
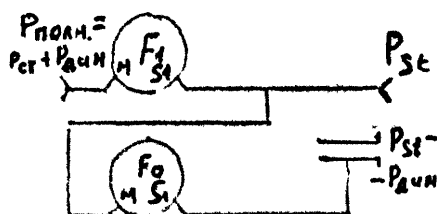


График показывает ход показаний вариометра при пере- и недокомпенсации. Недокомпенсированный вариометр со слишком слабой компенсацией даёт показания, характерные для некомпенсированных высотных вариометров. В течение времени прироста скорости $V_1 \rightarrow V_2$ он показывает слишком сильный спуск (голубая линия), при уменьшении скорости $V_1 \leftarrow V_2$ стрелка.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА СОПЛОВОГО КОМПЕНСАТОРА.



F₁, F₂ – указатели скорости.

M – подключение измеряемого давления.

S_t – подключение статического давления.

Сопловые компенсаторы могут быть проверены просто, надёжно и при любой погоде. Контрольный указатель скорости (**F₂**), включают между статическим давлением и соплом так, чтобы вход полного давления указателя

скорости был связан со статическим давлением, этот указатель скорости в полёте должен показывать те же значения скорости, что и нормально включённый указатель скорости F_1 . Этот тест может быть проведён кроме полёта также в воздушном потоке на автомобиле и т.п., лишь бы можно было воспринимать статическое давление без ошибок. Если контрольный указатель скорости показывает слишком мало, то недостаточно поддавливание от сопла (недокомпенсация). Если же он показывает слишком много, то сопло приводит к перекомпенсации.

Показания контрольного указателя скорости должны быть заблаговременно выровнены с соответствующими показаниями указателя скорости F_1 (например, путем вдувания). К тому же подключение полного давления приборов F_1 и F_2 должно быть связано при этом выравнивании.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРИБОРОВ

При изготовлении приборов можно сделать меньше или заблаговременно устранить источники ошибок, которые потом повлияют на показания.

Ниже даны некоторые рекомендации для этого:

- ни в коем случае нельзя забыть рёбра охлаждения для температурного выравнивания выравнивающей ёмкости вариометра.
- Все проводки изготавливать по возможности короче - это ведёт к более быстрым показаниям.
- Имеют смысл цветные шланги приборов, делающие различимым и понятным "шланговый салат" за приборной доской.
- Если включается много приборов на одинаковое статическое давление, то рекомендуется встройка разделительной камеры (маленькая камера с впаянными трубочками) для того, чтобы исключить посторонние влияния, как это было бы при Т-образных разветвлениях.
- Чувствительный электронный вариометр часто нуждается в собственном, независимом от других вариометров подводе статического давления.
- Если проводка полного давления не прокладывается с самого начала вверх, вследствие чего возможно попадание дождевой воды, то необходим влагоотделитель (ёмкость в самом низком месте проводки). Это необходимо и для всех других проводок.
- Для влажной погоды необходимо предусмотреть перед выравнивающей ёмкостью воздухоосушитель для того, чтобы предотвратить в выравнивающей ёмкости процессы конденсации и парообразования. Выравнивающая ёмкость в связи с этим может быть немного увеличена.
- Сопло должно быть смонтировано (если возможно) перед килем ≈ 60 см впереди передней кромки или перед стабилизатором ≈ 40 см от передней кромки. Если затем сопло повернуть так, чтобы оно висело на 2 - 3 см ниже своей проводки, то возможность заливки во время дождя в дальнейшем не угрожает. Все другие места установки сопла на фюзеляже между крылом и кабиной не защищены от случайных толчков и должны сначала испытываться в полёте, т.к. эти места очень сильно зависят от типа конструкции. Поскольку места установки сопла на однотипных планерах одинаковые, нам лучше осведомиться у изготовителя.
- В проводке полного давления к капилляру вариометра скорости следует устанавливать пылевой фильтр, чтобы капилляр не забился. Здесь годится, например, бензиновый фильтр.
- Трубочка увеличенного сопротивления потоку, которая служит для выравнивания по времени, при тех же обстоятельствах также должна предусматривать пылевой фильтр.
- Фильтр должен быть установлен до тарировки капилляра или трубочки увеличенного сопротивления потоку, т.к. он также увеличивает сопротивление потоку.
- Пишущие приборы должны устанавливаться так, чтобы при нормальном движении они были полностью уравновешены и расположены по направлению полёта так, чтобы в криволинейном полёте не возникало мешающих отклонений стрелки из-за перегрузки.

ИСПЫТАНИЯ ПРИБОРОВ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ.

Проверка приборов на герметичность проводится при подготовке к сезону во время зимних работ, после каждой установки или снятия приборов, а также перед соревнованиями и т.п. Лучше всего подходит для этого аквариумный воздушный насос, который для этой цели Оборудуется питающими воздушными шлангами, капилляром и точным вентилем дозировки (из торговых наборов моделистов - дроссельная игла от компрессионного двигателя). Питающие воздушные шланги также изготавливаются с изменяемым поперечным сечением, которые мы предварительно продуваем или прокачиваем.

Проверка проводится в соответствии с целью в три этапа:

- статическое давление (P_{st} -проводка) со всеми зависимыми проводками и приборами, такими, как высотомеры, указатели скорости, мембранные компенсаторы, некомпенсированные вариометры с выравнивающей ёмкостью:

- 1). Перекрыть отверстия статического давления.

- 2). В проводку статического давления подключить испытательный штуцер.
- 3). Медленно выкачивать воздух, наблюдая за вариометрами и указателями скорости. Вариометры, особенно специальные крылышковые и пружинно-крутильные, весьма чувствительны к неожиданным изменениям давления!
- 4). Когда указатель скорости покажет 150 км/час, проводка отключается и 2 - 5 минут ждут останутся ли показания постоянными.
- 5). Медленно спускают воздух наблюдая за бросками вариометра.
- 6). Перекрытые отверстия открывают, испытательный штуцер снимают.

Если стрелка указателя скорости при перекрытой проводке возвращается назад проводят новые испытания, ограничивая ошибку до обнаружения неплотности.

Источники погрешности: входы шлангов, уплотнения стёкол приборов, мембранные компенсаторы, выравнивающие ёмкости.

Более редко: разветвления, соединения штуцеров с корпусами.

- компенсационное сопло ($P_{st} - P_{дин}$ - проводка) со всеми проводками и полноэнергетическим вариометром с выравнивающей емкостью и капилляром оптимальной скорости:

- 1). Сопло само по себе не герметичное, поэтому капилляр оптимальной скорости отсоединяется от общего давления и перекрывается.
- 2). В проводку сопла включается крестовина: один вход для закачивания, другой - для давления, измеряемого указателем скорости.
- 3). Создаётся давление, как описано выше (в пунктах 3 – 6) амплитуда полноэнергетических различных вариометров при закачивании и выкачивании может быть одинаковой.

- Проводка полного давления ($P_{полн}$ - проводка) с указателями скорости, капиллярами оптимальной скорости и вариометрами оптимальной скорости:

- 1). Проводка капилляра вариометра оптимальной скорости снимается с вариометра и перекрывается.
- 2). Подключают испытательный штуцер в проводку полного давления
- 3). Накачивают давление, как описано выше (п.п. 3 - 6).

Особенно чувствительны к неплотностям сопло-компенсированные вариометры, т.к. в полете вся система работает от поддавливания сопла. Малейшие неплотности со стороны ёмкостей тотчас воздействуют катастрофически.

Многие электронные компенсаторы и все мембранные компенсаторы требуют абсолютной плотности.

Проводка динамического давления к указателям скорости менее чувствительна. Высотомер полностью нечувствителен, он будет достаточно точно работать и от давления в кабине.

ВЛИЯНИЕ ОШИБОК ВЫСОТЫ НА ОПТИМИЗАЦИЮ СКОРОСТИ.

Высотные ошибки были бы малозначимы для полёта по маршруту, т.к. они не прямо воздействуют на оптимальный полёт.

Для того чтобы при пониженной плотности воздуха можно было лететь с оптимальной скоростью, необходимо рассмотреть проблему в целом. С высотой изменяются не только показания указателей скорости и вариометров, но также и аэродинамика планера.

а. ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА ПЛАНЕРА.

Если пренебречь небольшими неточностями, связанными с изменением числа Рейнольдса, то скорость прямолинейного полёта, а также скорость снижения зависят от одного фактора - $\sqrt{\frac{1}{\rho}}$ (ρ – плотность воздуха), т.е. чем меньше плотность, тем быстрее летит и снижается планер, Угол планирования, однако, остаётся при этом одинаковым.

Если первоначальная поляра была рассчитана на NN , то новые значения поляры для уменьшенной плотности воздуха получают как результат: $V = V_0 \cdot \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}}$; $W_s = W_{s0} \cdot \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}}$;

где: V_0 – горизонтальная скорость в NN

ρ_0 – плотность воздуха в NN

W_{s0} – скорость снижения в NN

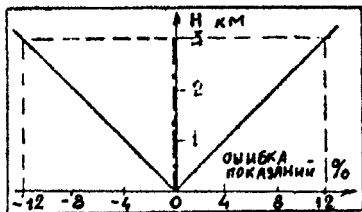
б. ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ.

Так как эти изменения поляры точно соответствуют ошибкам показаний указателя скорости, рассмотренным выше, полёт по указателю скорости (что, например, касается повышения и понижения скорости) ведёт к аэродинамически правильному поведению на больших высотах, а также в тех случаях, когда фактические геометрические величины скорости выше показываемых прибором.

с. ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАНИЙ ВАРИОМЕТРА.

Было бы хорошо, если бы вариометр давал такие же погрешности показаний, как и указатель скорости, тогда всё было бы значительно определённое. Правда, значения показаний получились бы геометрически неверными, однако полёт оставался бы оптимальным.

К сожалению, это не так.



- — — — — показания указателя скорости.
- показания объемноизмеряющего вариометра.
- показания массоизмеряющего вариометра.

На графике показаны зависимости отклонения показаний вариометров различного типа от геометрически правильных показаний указателя скорости.

Таким образом, геометрически правильно показывающий объемно-измеряющий вариометр, как и массоизмеряющий, ведёт к неоптимальной скорости.

НЕ ЛЕТИМ ЛИ МЫ НА БОЛЬШОЙ ВЫСОТЕ СЛИШКОМ БЫСТРО ИЛИ СЛИШКОМ МЕДЛЕННО?

Ответ на этот вопрос не зависит от приборов.

Для того, чтобы получить конкретный случай, рассмотрим следующий пример:

Планер «АСВ-15» с удельной нагрузкой на крыло 28 кг/м.кв. летит на высоте 2500 метров. При этом поляра скорости изменяется по тому же закону, что и на уровне моря при повышении нагрузки на крыло с 28 до 35 кг/м.кв.

Предположим, наш пилот на высоте 2500 метров встречает потоки со скороподъёмностью 3 м/сек. Что будут показывать приборы?

а). КРЫЛЫШКОВЫЙ ВАРИОМЕТР, КОЛЬЦО МАК-КРЕДИ, УКАЗАТЕЛЬ СКОРОСТИ (ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТНОГО НАПОРА).

Скороподъёмность 3 м/сек будет показываться точно, однако указатель скорости покажет меньше, чем фактическая скорость (геометрическая), из-за чего пилот летит слишком быстро: в спокойном воздухе между потоками с показаниями указателя скорости 162 км/час. Его фактическая скорость при этом составляет 185 км/час, что по изменённой поляре соответствует снижению в 2,4 м/сек, дающему на кольце 162 км/час. Пилот летел бы оптимально с фактической скоростью 173 км/час, что соответствует показаниям указателя скорости 150 км/час. Объёмноизмеряющий вариометр на большой высоте приводит к завышенной скорости планирования.

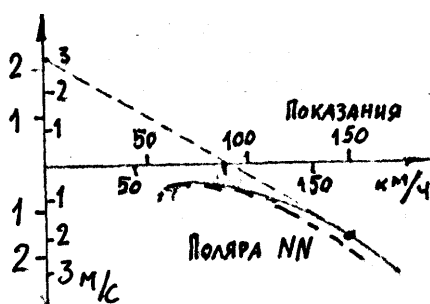
б). ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ВАРИОМЕТР, КОЛЬЦО МАК-КРЕДИ, УКАЗАТЕЛЬ СКОРОСТИ (ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТНОГО НАПОРА).

Скороподъёмность в 3 м/сек по причине ошибок показаний вариометра выглядит как 2,35 м/сек, и кольцо устанавливается на это значение. Полёт, кажущийся оптимальным, в спокойном воздухе получается при показаниях скорости 144 км/час, которые будут соответствовать фактической скорости в 163 км/час. При этой скорости спуск получается 1,75 м/сек, показания вариометра составят, однако, только 1,4 м/сек. Так как кольцо было установлено на ошибочное значение подъёма 2,35 м/сек, показание оптимальной скорости получается равным 144 км/час. Оптимально мы бы летели при показаниях указателя скорости 150 км/час.

С использованием массоизмеряющего (температурного) вариометра, мы летим на заниженной скорости.

В лётной практике есть довольно известная тенденция, когда с кольцом Мак-Креди летят в зависимости от приборов несколько быстрее или медленнее, чем это соответствует показаниям оптимальной скорости. Любители

точности могут изготовить различные кольца для каждой высоты полёта. При этом необходимо использовать полярную соответствующей высоты полёта и оси скоростей **V** и **W**, разметать с учётом ошибок показаний прибора.



На рисунке показана полярная скоростей планера «АСВ-15» с нагрузкой на крыло 28 кг/м.кв. для высоты полёта 2500 метров с поправкой скоростей на ошибки указателя скорости.

с). ВАРИОМЕТР ОПТИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ (ОПТИМИЗАТОР).

Наряду с изменением полярной, а вместе с ней и кривой оптимальных скоростей (калькуляторной кривой) ошибки показаний вариометра оптимальных скоростей на больших высотах обусловлены и другими факторами.

-Течение воздуха через капилляр оптимизатора прямо зависит от показаний указателя скорости. Во время планирования оно изменяется благодаря движущемуся воздуху даже тогда, когда показания оптимизатора постоянны.

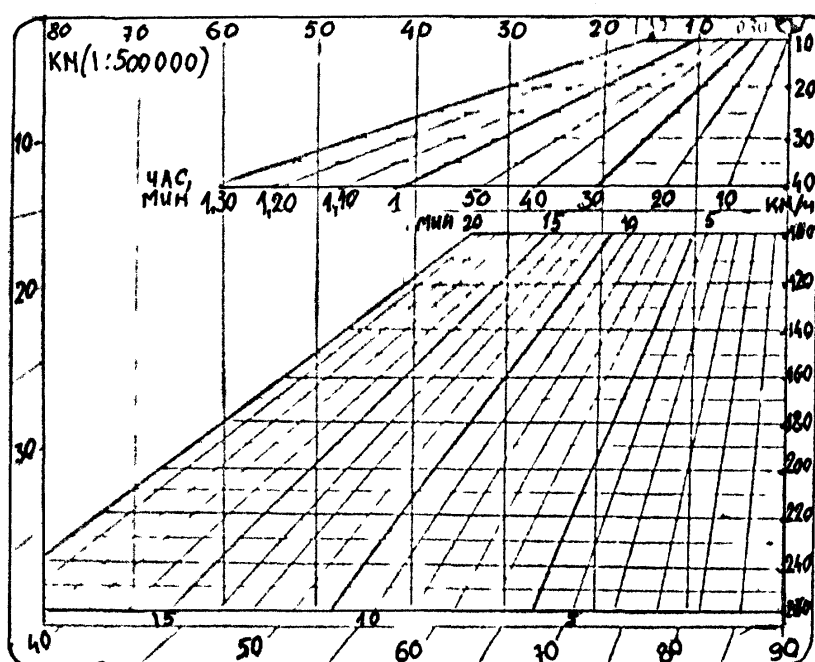
-Течение воздуха через вариометр зависит от установки нуля и от выбранного значения показаний оптимизатора. Во время планирования это течение из-за движущегося воздуха не изменяется.

Оба течения с высотой изменяются, поэтому ошибки оптимизатора соединяются очень комплексно, тем более, что присоединяются изменения от полярной и калькуляторной кривой.

На основе некоторых практических примеров, которые также просчитывались теоретически, можно дать следующие рекомендации для полёта с оптимизатором на больших высотах:

1. Скороподъёмность в восходящем потоке следует определять с помощью вариометра такого же типа, как и вариометр, на основе которого сделан оптимизатор, т.е. использовать или два объёмно-измеряющих или два массоизмеряющих прибора.
2. Чем быстрее спускается планер в прямолинейном полёте, тем большие ошибки показаний в сторону слишком большой скорости.
3. Ошибки массоизмеряющих приборов могут оказаться выше.

ЛИНЕЙКА СЧИСЛЕНИЯ ПУТИ (ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПРИ ПОЛЁТЕ ВНЕ ВИДИМОСТИ ЗЕМЛИ).

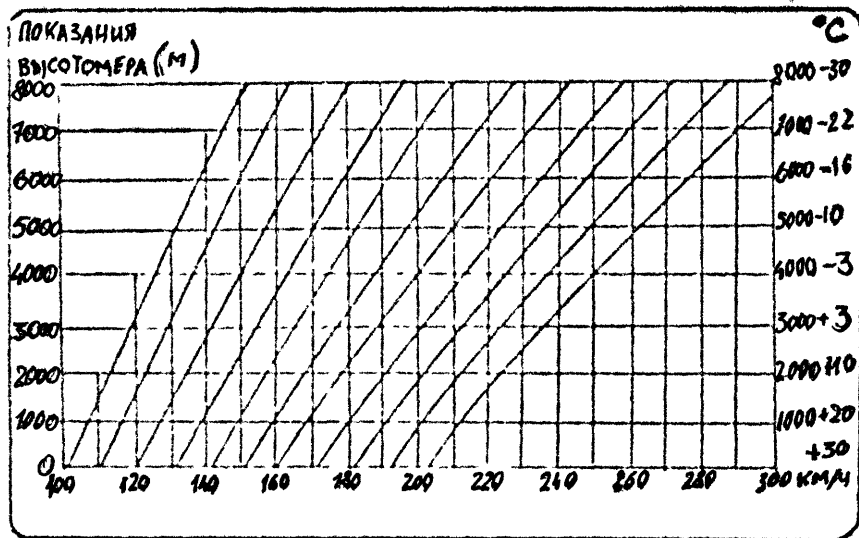


Ниже поясняется устройство линейки, изображенной на рисунке. В верхней части линейки имеется километровая разметка для карт масштаба 1:500000 (при масштабе 1:250000 измерянные результаты делить пополам). На правой стороне линейки расположены скорости ветра от 10 до 40 км/час и собственные скорости планера от 100 до 260 км/час. Красные линии, проходящие наискось слева снизу – направо вверх означают время полёта, в течение которого происходит полёт в определённом направлении.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ В ДАННЫЙ МОМЕНТ.

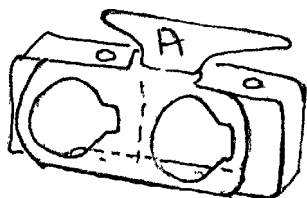
Линейка накладывается на карту так, чтобы точка отсчёта лежала в последней известной точке местоположения. Сначала определяется точка отбоя ветром, для чего линейка устанавливается в соответствующем направлении ветра, и по скорости ветра и времени полёта находим снос. Затем из новой точки прокладывается вторая линия в направлении магнитного курса и по воздушной скорости и времени полёта находится удаление, т.е. искомое местоположение в данный момент.

Необходимую истинную воздушную скорость получаем по графику на обратной стороне линейки.



Он представляет собой зависимость истинной воздушной скорости от приборной для различных высот полёта.

ФОТОДЕРЖАТЕЛЬ.

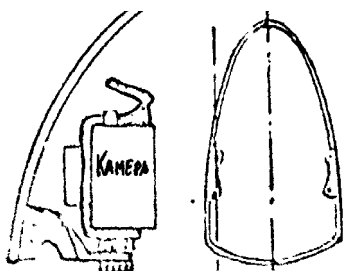


А – спусковая планка.

На рисунке изображён фотодержатель для двух камер типа «Инстматик». Он изготавливается из листового алюминия толщиной 2мм.

Если фотодержатель расположен так, что ось объектива камеры расположена под углом 90° к оси планера, то затем в полёте мы получим желаемые снимки, на которых в заднем верхнем углу виден конец крыла. При съёмке прицеливаются крылом планера и нажимают спусковую планку в тот момент, когда объект съёмки появляется непосредственно перед законцовкой крыла. При желании можно изогнуть спусковую планку несколько асимметрично, так, чтобы при нажатии один фотоаппарат срабатывал несколько раньше другого.

Камера на фотодержателе укрепляется с помощью штативного винта, а он, в свою очередь, с помощью штативного винта на накладке.



Если на фотодержатель установить также дистанционный спуск, то это даёт дополнительное преимущество и упрощает съёмку.

ДОПОЛНЕНИЯ.

ДОПОЛНЕНИЕ 1: ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПОЛЁТА СПОСОБОМ «ДЕЛЬФИН»

Данная часть, скорее всего не входила в оригинальное издание книги и была добавлена редакцией при издании перевода.

В наши дни достижения планеристов в большей мере основывается на положениях и выводах теории оптимизации парящего маршрутного полёта. Поэтому с одной стороны, весьма актуальна задача совершенствования этой теории в комплексе с вопросами улучшения аэродинамики планеров, их приборного оборудования и развитием планерной метеорологии.

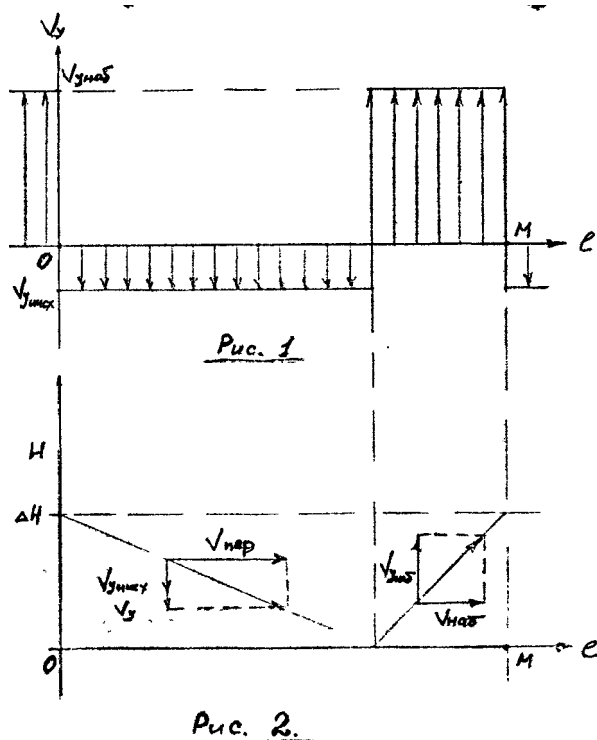
С другой стороны, столь же актуальным является требование, чтобы каждый знал и умел применять в полёте теорию оптимизации, без чего невозможен устойчивый спортивный рост и высокие результаты.

Эта статья предназначена прежде всего для молодых спортсменов и ставит целью показать взаимосвязь теории «классического полёта» (с набором высоты спиралью) и способа «Дельфин», а также раскрыть физический смысл величин, входящих в основное уравнение теории.

Способ полёта «Дельфин» освоен сравнительно недавно и обязан своим рождением росту лётных данных планеров. Современные ламинарные профили в сочетании с большими удлинениями крыла, высокой удельной нагрузкой и другими факторами обеспечивают малое собственное снижение планера на больших скоростях. Если оказывается, что восходящие потоки широкие и расположены достаточно часто вдоль линии пути, то после перехода от одного потока к другому потеря высоты мала и нет необходимости становиться в спираль. Высота восстанавливается путём пролёта зоны восходящего потока на некоторой небольшой скорости – например, на экономической.

Динамичный полёт планера с частым чередованием восходящих и нисходящих участков напоминает движение дельфина в воде, откуда и название способа. Наиболее подходящие условия для полёта «Дельфином» существуют под облачными грядками.

Приняв модель распределения вертикальных потоков вдоль линии пути планера, изображённую на рис.1, рассчитаем среднюю скорость на отрезке ОМ при условии, что высота теряемая при полёте через нисходящий поток, равна высоте, набираемой планером при прямолинейном полёте через восходящий поток на скорости $V_{наб}$. Траектория полёта при этом показана на рис.2.



Основные обозначения:

L - протяженность нисходящего потока (длина перехода между восходящими потоками);

D - протяженность восходящего потока;

V_{Yнисх} - вертикальная скорость нисходящего потока;

V_{Yвосх} - вертикальная скорость восходящего потока;

V_Y – вертикальная скорость собственного снижения планера;

V_{Yнаб}=V_{Yвосх}-V_Y - скороподъемность планера в восходящем потоке;

V_{пер} - скорость полёта в области нисходящего потока (скорость перехода);

V_{наб} - скорость полёта в восходящем потоке;

ΔH - потеря высоты в нисходящем потоке, равная набору в восходящем;

T_{пер} - время перехода (полёта через нисходящий поток);

T_{наб} - время полёта через восходящий поток (набора высоты);

V_{ср} - средняя скорость полёта.

Средняя скорость на отрезке определяется формулой: $V_{ср} = \frac{L + D}{T_{пер} + T_{наб}}$ (1);

поскольку: $L = V_{пер} \cdot T_{пер}$ (2); $D = V_{наб} \cdot T_{наб}$ (3);

то получается $V_{ср} = V_{пер} \frac{T_{пер}}{T_{пер} + T_{наб}} + V_{наб} \frac{T_{наб}}{T_{пер} + T_{наб}}$ (4);

введем обозначение: $\bar{T}_{наб} = \frac{T_{наб}}{T_{пер} + T_{наб}}$ (5), где $\bar{T}_{наб}$ - относительное время затраченное на набор высоты;

$\bar{T}_{пер} = \frac{T_{пер}}{T_{пер} + T_{наб}}$ (6), где $\bar{T}_{пер}$ - относительное время, затраченное на переход

между восходящими потоками.

Тогда уравнение (4) принимает вид: $V_{ср} = V_{пер} \cdot \bar{T}_{пер} + V_{наб} \cdot \bar{T}_{наб}$ (7).

Преобразуем формулы (5) и (6), используя следующие зависимости:

$T_{пер} = \frac{\Delta H}{V_{Yнисх} + V_Y}$ (8); $T_{наб} = \frac{\Delta H}{V_{Yнаб}}$ (9);

получаем:

$\bar{T}_{наб} = \frac{\frac{\Delta H}{V_{Yнаб}}}{\frac{\Delta H}{V_{Yнисх} + V_Y} + \frac{\Delta H}{V_{Yнаб}}} = \frac{V_{Yнисх} + V_Y}{V_{Yнаб} + V_{Yнисх} + V_Y}$ (10);

$\bar{T}_{пер} = \frac{\frac{\Delta H}{V_{Yнисх} + V_Y}}{\frac{\Delta H}{V_{Yнисх} + V_Y} + \frac{\Delta H}{V_{Yнаб}}} = \frac{V_{Yнаб}}{V_{Yнаб} + V_{Yнисх} + V_Y}$ (11);

Окончательно, подставим формулы (10) и (11) в уравнение (7), получаем общее уравнение для определения средней скорости полёта планера:

$V_{ср} = V_{пер} \cdot \frac{V_{Yнаб}}{V_{Yнаб} + V_{Yнисх} + V_Y} + V_{наб} \cdot \frac{V_{Yнисх} + V_Y}{V_{Yнаб} + V_{Yнисх} + V_Y}$ (12);

Первое слагаемое правой части – суть отражение теории Мак-Креди, дающее среднюю скорость при «классическом» полёте со спиральными наборами. Второе же слагаемое определяет приращение средней скорости за счет того, что при наборе планер не кружится на месте, а летит по прямой (по маршруту) с поступательной скоростью **V_{наб}**.

Таким образом, формула средней скорости «классического» полёта получается из уравнения (12) как частный случай при **V_{наб}=0** (набор в спирали).

Представим уравнение (12) в следующем виде: $V_{ср} = V'_{ср} + \Delta V_{ср}$ (13),

где **V'_{ср}** – средняя скорость полёта со спиральными наборами в заданных метеоусловиях,

ΔV_{ср} – приращение средней скорости при полёте способом «Дельфин» в тех же условиях.

Тогда можно написать:
$$V'_{cp} = V_{пер} \cdot \frac{V_{ynaб}}{V_{ynaб} + V_{ynисx} + V_Y} \quad (14);$$

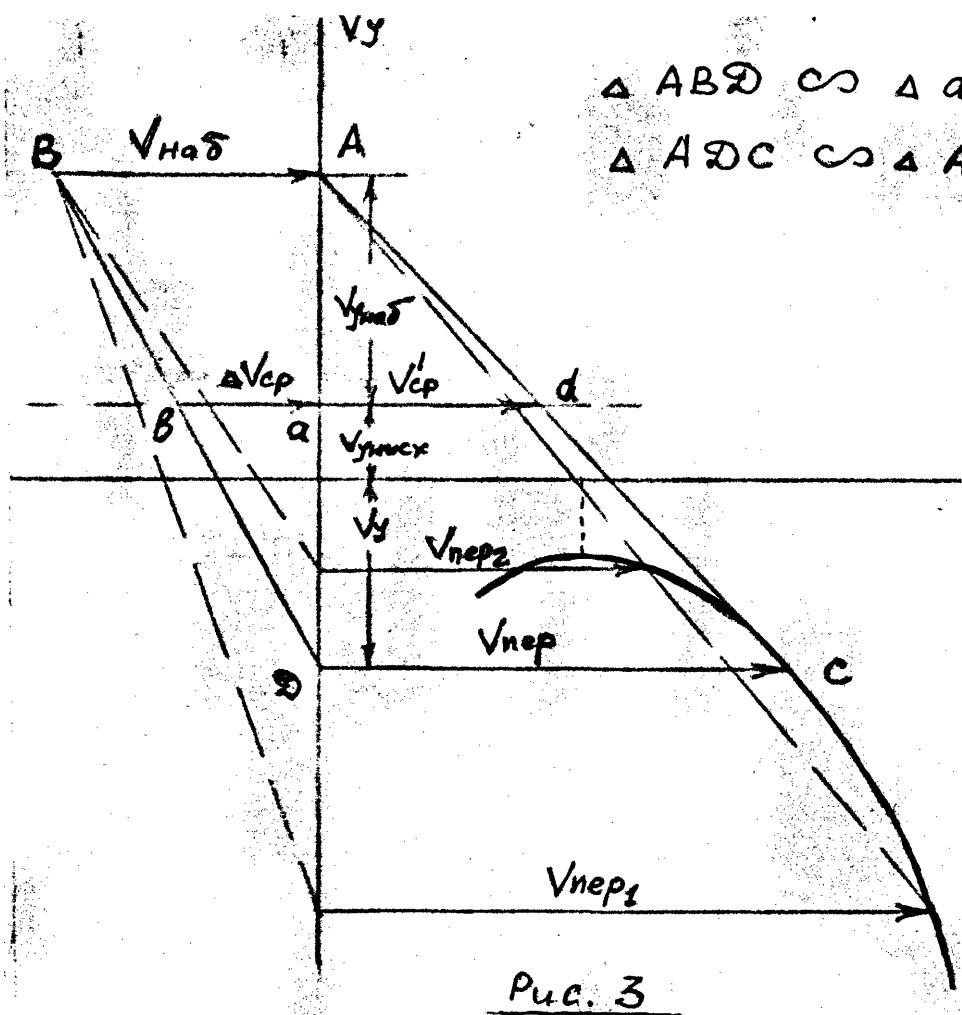
$$\Delta V_{cp} = V_{наб} \cdot \frac{V_{ynисx} + V_Y}{V_{ynaб} + V_{ynисx} + V_Y} \quad (15).$$

Каждое из уравнений (14) и (15) позволяет дать весьма наглядную интерпретацию в виде геометрического построения. Для этого перепишем (14) и (15) в виде пропорции:

$$\frac{V'_{cp}}{V_{ynaб}} = \frac{V_{пер}}{V_{ynaб} + V_{ynисx} + V_Y} \quad (16);$$

$$\frac{\Delta V_{cp}}{V_{ynисx} + V_Y} = \frac{V_{наб}}{V_{ynaб} + V_{ynисx} + V_Y} \quad (17).$$

Построения в системе координат скоростной поляры с использованием подобия векторных треугольников показаны на рис.3.



Сумма отрезков **ba** и **ad** даёт величину средней скорости при полёте способом «Дельфин».

Оптимальная скорость перехода определяется также, как и в классической теории – путём проведения касательной к поляре из точки с ординатой, равной сумме $V_{ynaб} + V_{ynисx}$.

Другими словами, кольцевой калькулятор на вариометре сохраняет свое значение и при полёте «Дельфином», при этом он устанавливается на полное значение скороподъёмности в восходящих потоках. Если такая установка ведёт к избытку высоты (полёт под очень мощной грядой), то выгодно повышать установку калькулятора (и соответственно – скорость) настолько, чтобы траектория стала в среднем горизонтальной. При этом оказывается, что уменьшение V'_{cp} за счёт неоптимальной скорости компенсируется увеличением ΔV_{cp} (построение для $V_{пер1}$ на рис.3).

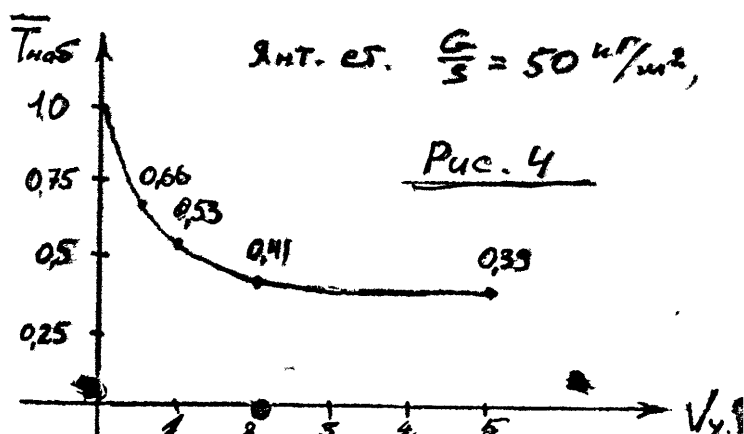
Однако если полёт с правильной установкой калькулятора ведёт к дефициту высоты (потери за переход больше, чем набор в восходящем потоке), то снижать установку калькулятора нельзя, так как уменьшение скорости ниже оптимальной снижает как V'_{cp} так и ΔV_{cp} (построение для $V_{пер2}$ на рис.3).

В этом случае оптимальным будет полёт «дельфином» с правильной установкой калькулятора, а накапливающийся дефицит высоты следует восполнять в наиболее сильных потоках спиралями.

Сравнивая формулы (13) и (7) можем написать:

$$\Delta V_{cp} = V_{наб} \cdot \bar{T}_{наб} \quad (18);$$

То есть, при чистом «Дельфине» приращение средней скорости пропорционально относительному времени набора, определяемому по формулам (5) или (11). Следует отметить, что выводы, сделанные нами из рассмотрения отдельного отрезка маршрута, можно распространить на весь полёт, если оперировать средними по маршруту значениями $V_{Yнаб}$ и $V_{Yнисх}$.



На рис.4 приведена зависимость относительного времени набора при полёте планера Янтарь-Стандарт в потоках различной скороподъёмности. Величина скорости в восходящем потоке $V_{наб}$ лежит обычно между экономической и минимальной. Принимая для Янтарь-Стандарт $V_{наб}=V_{эк}=97$ км/час и используя график рис.4, по формуле (18) для $V_{Yнаб}=2$ м/сек получаем:

$$\Delta V_{cp} = 97 \cdot 0,41 = 40 \text{ км/час}.$$

Если приходится сочетать полёт «Дельфином» и классический, то в формулу (18) вместо $\bar{T}_{наб}$ надо подставить ту его часть, что затрачена на набор в прямолинейном полёте. Если в приведенном примере половина всей высоты набрана спиралями (считаем скороподъёмность везде постоянной), в расчёте берём половину $\bar{T}_{наб}$, найденному по графику, и $\Delta V_{cp}=20$ км/час.

Из того же графика видно, что полёт «Дельфин» особенно полезен при слабых потоках (менее 1,5 м/сек), так как при этом растёт относительное время наборов. В частности, при $V_{Yнаб}=0$ $\bar{T}_{наб} = 1$, это значит что полёт без потери высоты возможен в восходящем потоке, компенсирующем минимально возможное снижение планера, т.е. на экономической скорости.

В этом случае выражение (16) теряет смысл, так как оно содержит в знаменателе величину $V_{Yнаб}$, равную нулю. Следовательно, теряет смысл и его графическая интерпретация (справа от вертикальной оси на рис.3). Физически это значит, что полёт на любой другой скорости, кроме экономической, связан с потерей высоты, восстановить которую невозможно.

А формула (17) и её графическая интерпретация (слева от вертикальной оси на рис.3). даёт при $V_{Yнаб}=0$ значение

$$\Delta V_{cp} = V_{эк},$$

подтверждая тот факт, что полёт по маршруту возможен только на $V_{эк}$ способом «Дельфин», если на планер воздействует восходящий поток равный его минимальному снижению.

ДОПОЛНЕНИЕ 2: ПЛАНЕР ASW-15.

На протяжении книги автор часто ссылается на планер ASB-15 (ASW-15), для получения более полной картины

мы решили включить небольшое описание этого планера в качестве дополнения.

Спортивный планер Стандартного Класа

Schleicher ASW-15



Характеристики

- Размах крыльев 15.0 м.
- Длина планера 6,48 м.
- Высота планера 1,45 м
- Площадь 10,68 кв.м.
- Удлинение 20,45
- Профиль крыла FX61-163 / FX60-126
- Вес пустого 205 кг
- Полезная нагрузка 113 кг.
- Водобалласт отсутствовал на момент начала выпуска.
- Общий вес 318 кг.
- Структура: фибергласс и бальса слоями.

Летные качества

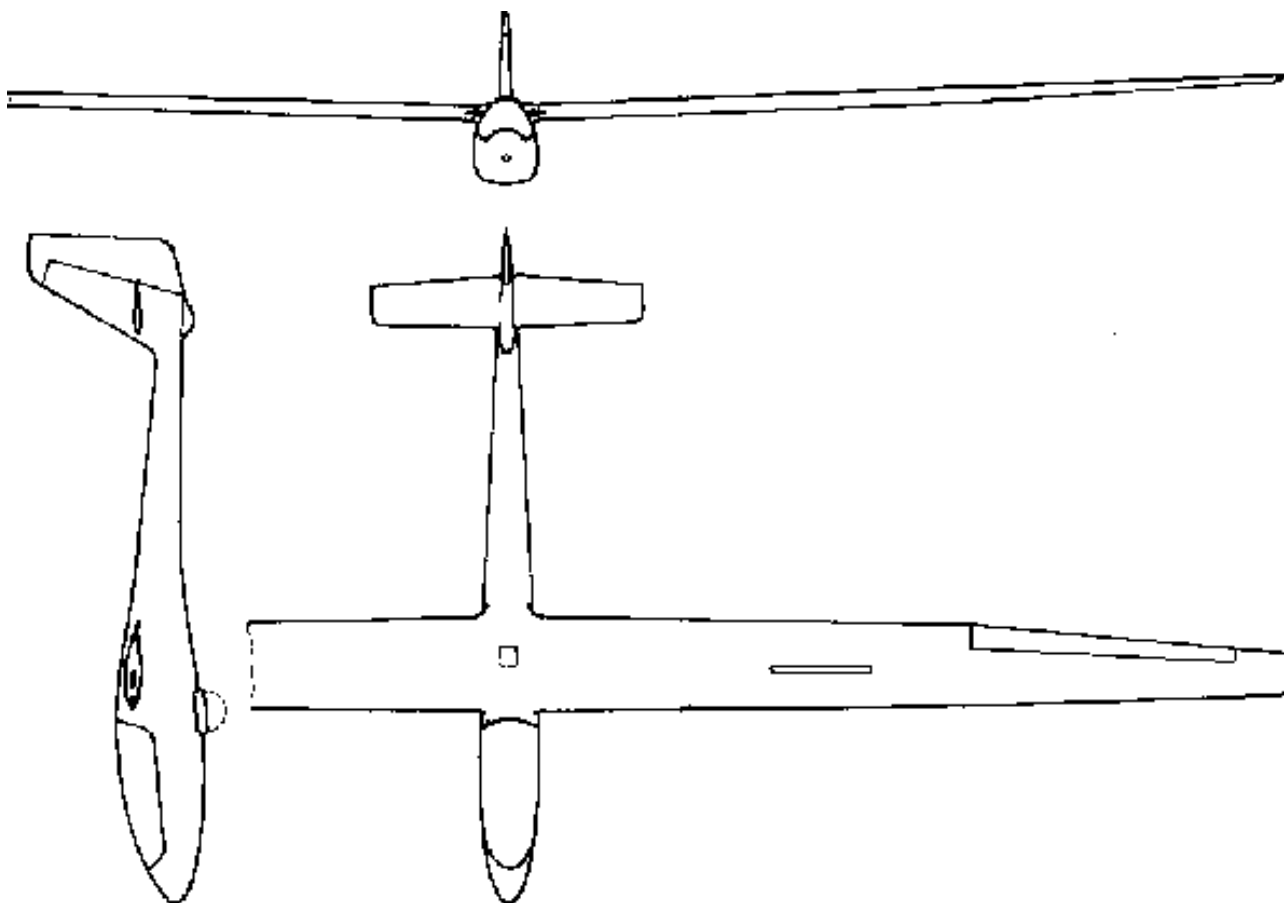
- Максимальное аэродинамическое качество 38
- Скорость МАК 89км/ч
- Минимальное снижение 0,58 м/с
- Минимальная скорость полета (эволютивная) 63 км/час
- Максимальная скорость 220 км/час.

Разное

- Страна производитель Германия
- Конструктор Gerhard Waibel
- Количество мест 1

ASW-15, который впервые взлетел в 1968 году, был первым планером Шляйхера (Schleicher) из композитов в стандартном классе. Без водобалласта, согласно правилам того времени для Стандартного Класса. Имел цельно поворотный горизонтальный хвост и металлические аэродинамические тормоза. После изменения правил Стандартного Класса, и разрешения водобалласта, были установлены водобалластные баки по 38 кг в каждое крыло, укреплен киль, удлинена кабина, увеличены рули и увеличена масса.

Три вида планера:



ЛИТЕРАТУРА.

Список литературы не восстанавливался, в виду бесполезности траты времени (причины: годы издания, скорее всего ни одно из приведенных изданий или статей не переводилось на русский язык), поэтому приводится так как он есть:

Л И Т Е Р А Т У Р А.

КНИГИ.

1. С.Е. Веллингтон: Метеорология для планериста. Франкфурт/М, 1967
2. В. Георгии: Лётная метеорология. Франкфурт/М, 1956
3. В. Георгии: Метеорологическая навигация для планеризма. Брауншвейг, 1969
4. Р. Скорер: Облака мира, Невтон Аббот, 1972
5. Х. Фортак: Метеорология, Берлин и Дамштадт, 1971
6. Ф. Вейнхольц: Основы теории современного полёта по маршруту на планере. Вохум, 1967
7. Ч. В. Калкреуч: Парение над Альпами, Штутгарт, 1972
8. В. Кассера: Полёт без мотора. Штутгарт, 1972
9. Публикации OSTIV (Organisation Scientifique et Technique du Vol à Voile, Aviodone, Schiphol Centrum, Amsterdam)
9. М. Хаубенхордер: Механика полёта по спирали.
10. С.Е. Веллингтон: Прогнозирование для планеризма.

Публикация № 7

- | | |
|---|----|
| 11. Н.Н. Кветтнер: Облачные гряды | 9 |
| 12. Р. Скорер: Анабатические ветры | 9 |
| 13. Х. Макш: Волновые течения над конвективными грядами | 10 |
| 14. С.Е. Веллингтон: Расчёты подветренных волновых течений, содержащих роторы | 10 |
| 15. Д. Коновалов: О строении термиков | 11 |
| 16. Н.Н. Кветтнер: Парение в термических волнах | 11 |
| 17. В. Тетенхорд и В.К. Болл: Современные системы вариометров | 12 |
| 18. И. Бестербсер: Достижения электроники - для планерного спорта | 13 |

ПУБЛИКАЦИИ В СПЕЦИАЛЬНЫХ ЖУРНАЛАХ ПО ПЛАНЕРИЗМУ.

Немецкий аэроклуб,
Аэроклубер, изд. Нефанд, Гельзенкирхен
Авиаспорт, изд. для авиаспорсменов и воздушных пассажиров,
Вохум.

- Аэрореву , национальная газета, Газель.
- Планеризм, Британская ассоциация планеризма , Лондон
Tailot & Francis, Basingstoke, Hants
- 19.Г. Хут: Проблемы эффективности полёта на планере. Немецкий аэроклуб 3/63
- 20.Э.Томас: Влияние расчётного аэродинамического качества на эффективность полёта на планере. Аэрокурьер 12/1971
- 21.Х. Маурзон, Х. Зашер: Полётные измерения на 25 планерах. (немецкое исследовательское учреждение по воздушному и космическому движению). Аэрореву 10,11,12/1973
- 22.А. Бохли: Один новый компас для полётной навигации. Аэро-реву 4/1973
- 23.Р. Комте: Параметры планирующих полётов. Аэрореву 11/1971
- 24.Брюккинер: Упрощённый полёт по маршруту с неттовариометром и оптимизатором. Авиаспорт 3/1973
- 25.Р. Комте: К теории оптимизации прыжков. Аэрореву 1/1972
- 26.Р. Комте: "Каждый себе банкомёт" Затяжной прыжок в практике. Аэрореву 2/1972
- 27.П. Антвайлер: К теории стиля "дельфин". Авиаспорт.6/1972
- 28.Т. Бредбури: Погода на высоте 40 000 футов. Планеризм, 8,9/1972
- 29.Г. Вайбель: Размышления о смысле и возможностях годеаного балласта в планерах стандартного класса. Аэрокурьер,6/1973
- 30.Х. Бурциауэр: Ошибки показаний компасов. Аэрокурьер,3/1973
- 31.К. Нонас: Возможности эффективности и их пределы для планеров различных классов. Аэрокурьер, 8/1974
- 32.Х. Райхманн: Ошибки показаний в системе " кольцо Мак-Кре-ди - вариометр". Авиаспорт, 4/1973
- 33.А. Райхманн: Вынужденные посадки. Авиаспорт, 7/1973
- МЕТОДИЧЕСКИЕ СООБЩЕНИЯ О СОРЕВНОВАНИЯХ ПО ПАРЯЩЕМУ ПОЛЁТУ
- 34.Г. Фредер: Правила соревнований по парящему полёту.
- 35.Г. Мюрат: Полёт на малых высотах. 1969

- 36.А.Г. Мор: Системы электронных вариометров. 1969
- 37.Смит и Шредер: Факторы, влияющие на критические решения, 1969
- 38.Смит: Философия победы. 1969
- 39.А.Г. Мор: Системы вариометров. Часть 2, 1970
- 40.Смит: Философия победы. Часть 2, 1970
- 41.Коллектив авторов: Гудхарт, Мофат, Шредер, Смит: Как практически улучшить проведение соревнований. 1970
- 42.Г. Мофат: Задача стратегии, 1971
- 43.А.Н. СМИТ: Решения о взлёте и посадке. 1971
- 44.Н. Байт: Подготовка планера к соревнованиям. 1971
- OTHER REFERENCES.
- 45.Сборные работы немецких исследовательских учреждений по планеризму. Рон-Розиттенское общество.
- 46.К. Финлеманн: Ветровые волны в лётной метеорологии. Метеорологические статьи. F. U. Герлин 89/4, Герлин 1971
- 47.Л. Грене, Е. Кауэр: Некоторые критические наблюдения к теории Мак-Креди. Сообщение 8 Филиппа Фтюга. Ахен, 1973
- 48.Е.Кауэр: Теория полёта Мак-Креди. Сообщение 9 Филиппа Фтюга. Ахен, 1973
- 49.Е. Кауэр, Х.И. Кунгингер: Планеризм в стиле "дельфин". Сообщение 10 Филиппа Фтюга. Ахен, 1973.
- 50.Н. Гербер: Ecoulement de l'air au voisinage immédiat du relief. Intern. Wiss. Kongress über Jet-stream und Wellenströmung. Politecnice di Torino, 1959