

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Маленькое примечание: в данной части книги при рассмотрении схем и графиков встречаются ссылки на цвета линий (которые, по-видимому, имели место в оригинале), но при издании перевода (черно-белого цвета) были утрачены, так что остаётся только надеяться, что ваши догадки будут правильными.

### ЧАСТЬ II.

### МЕТЕОРОЛОГИЯ.

#### ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ.

Вертикальное распределение температуры воздуха имеет решающее значение для образования восходящих потоков. Оно измеряется радиозондами, которые поднимаются тропосферу на воздушных шарах или самолетах. Одновременно измеряется распределение влажности воздуха по высоте.

#### АЭРОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГРАММА.

Метеоролог наносит измеренные параметры на диаграмму. Она содержит множество линий, которые возможно нас сначала запутают, однако впоследствии очень облегчат анализ метеообстановки. Существуют различные виды таких диаграмм. Немецкая служба погоды применяет в основном термодинамическую диаграмму, на которой линии давлений расположены горизонтально, а линии температур вертикально. На рисунке изображена часть этой диаграммы, где горизонтальные линии давлений соответствуют линиям высоты

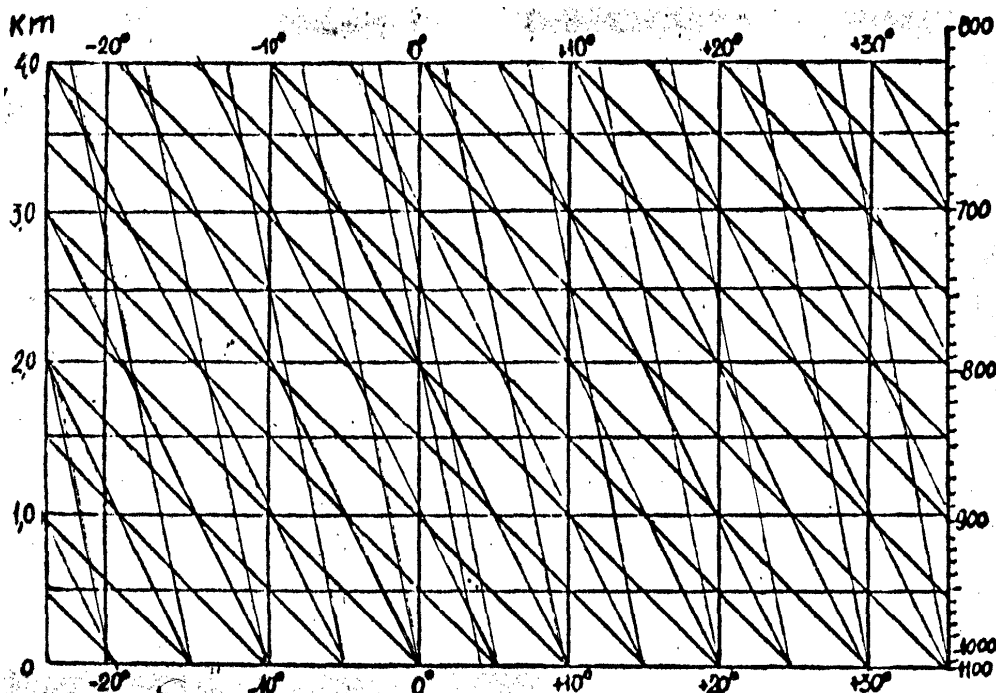


схема 1

Строго говоря, эта диаграмма является точной при условии, что воздушная масса соответствует параметрам стандартной атмосферы. Но т.к. наши высотометры регулируются для фактических параметров атмосферы, то мы можем применять эти диаграммы для наших целей. Кроме горизонтальных линий высоты и вертикальных линий температуры, диаграмма содержит еще три следующих вида линий.

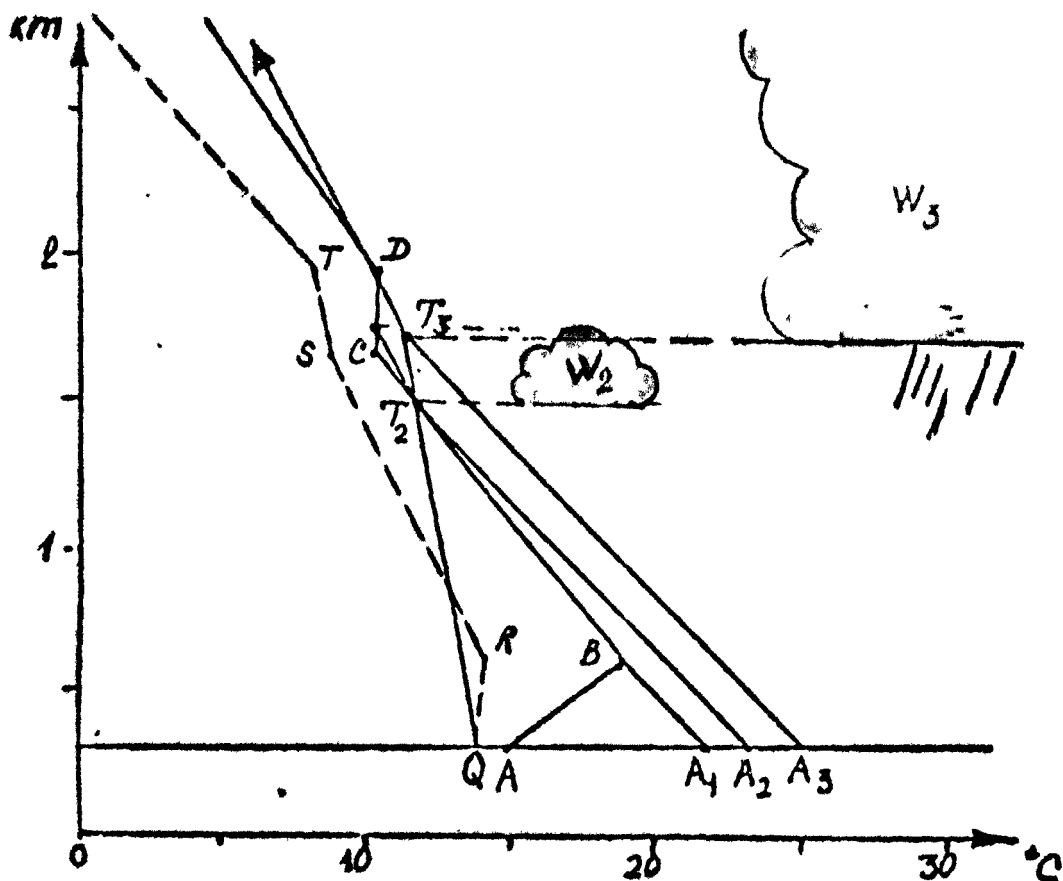


схема 2

Черные линии, идущие снизу вверх влево – это сухие адиабаты. Они показывают изменение температуры сухого ненасыщенного воздуха с высотой. (Адиабатический процесс – процесс, происходящий без теплообмена с окружающей средой.) Красные линии – влажные адиабаты. Они показывают изменение температуры влажного насыщенного воздуха с высотой. Голубые линии – изограммы, т.е. линии равной удельной влажности при состоянии насыщения. Они показывают при какой температуре и на какой высоте воздушная масса данной влажности достигнет состояния насыщения. Дальнейший подъем этого воздуха привел бы к конденсации и образованию облаков.

Предположим, что наш зонд находится на высоте 300м (см. схему). Подъем зонда в те воздушные массы, которые придут к нам днем, дал бы нам точки от А до D. На высоте 300 метров (точка А) температура была 15°C, а с подъемом до 600 метров (точка В), она достигла бы 19°C. Такое распределение температуры устанавливается ночью из-за охлаждения земли. От В до С температура изменяется несколько медленнее, чем по сухой адиабате. Воздух в этом диапазоне слабо устойчив. От С до D температура не изменяется, т.е. слой изотермичен. Выше точки D воздух неустойчив из-за достижения точки насыщения.

У земли температура точки росы на 1,2°C ниже, чем фактическая. Это значит, что если при постоянном давлении температуру воздуха понизить на 1,2°C, то из него начнет конденсироваться содержащаяся в нем влага. Числовое обозначение проходящей через точку Q влажной адиабаты (10) показывает нам, что воздух вблизи земли содержит 10 граммов воды на 1 кг сухого воздуха. Если до высоты 600 метров разница точек росы и фактических температур повышается, то содержание воды в нем также повышается (точка R). Хотя в точке S воздух содержит только 8,3 грамма воды на 1 кг сухого воздуха, незначительная разница точек росы (точки S и C различаются только на 1,5°C) показывает, что здесь высока удельная влажность воздуха. От точки S и выше Т разница между точками росы и фактическими температурами снова повышается, воздух наверху становится суше.

### ИЗМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ТЕЧЕНИЕ ДНЯ.

После подъема солнца земля согревается. Нижний слой воздуха снова нагревается от земли, расширяется, удельный вес его становится меньше, и если его подтолкнуть, может подниматься. Термический подъем происходит адиабатически и до тех пор, пока поднимающийся воздух теплее и поэтому легче, чем окружающий. Мы можем отметить этот подъем в диаграмме, проведя из точки определенной температуры у земли линию, параллельную сухой адиабате, до пересечения с линией распределения фактической температуры (точка В). До тех пор, пока температура воздуха у земли не достигнет 22°C (точка А), термическая турбулентность заканчивается до высоты 300 метров. При

дальнейшем прогревании термики достигают больших высот и становятся пригодными для парящих полетов. При температуре у земли  $23^{\circ}\text{C}$ , поднимающаяся сухая адиабата, пересекается в точке  $T_2$  с «десятиграммовой» влажной адиабатой. Это значит, что поднимающийся воздух достигает состояния насыщения. Дальнейший его подъем приводит к конденсации воды и образованию облака. При этом воздух охлаждается совсем не так быстро. Он поднимается от точки  $T_2$  при образовании кучевого облака  $W_2$  по влажной адиабате до пересечения с изотермичной частью линии распределения фактических температур на высоте 1750 метров. Температура  $A_2$  является критической для образования облаков, т.к. на этой высоте разница между фактической температурой и температурой конденсации составляет только  $1,5^{\circ}\text{C}$ . На этой высоте облако медленно распадается, это приводит к растеканию и образованию экрана.

Предположим, в каком-то районе, свободном от экрана, температура воздуха у земли поднимается до  $25^{\circ}\text{C}$ . Тогда термик достигнет уровня конденсации на высоте только 1700 метров (точка  $T_3$ ). При дальнейшем подъеме температура его изменяется по влажной адиабате. Но т.к. при этом изотерма CD не пересекается с влажной адиабатой, то подъем не прекращается и образуется мощное облако  $W_3$ , температура которого на большой высоте понижается немного ниже нуля. Это приводит к ливню, и если фактическая температура пересекается с влажной адиабатой на очень больших высотах, может образоваться гроза. На этом примере мы видим, как необходимо знать температуру тех воздушных масс, которые определяют для планеристов погоду в районе полетов. В качестве примера мы можем определить температуру, при которой термик достигает минимально достаточной высоты для продолжительного полета (около 800 метров). В нашем примере это температура  $22,5^{\circ}\text{C}$ . Температура распада облаков также легко определяется проведением от точки  $T_2$  влажной адиабаты. Высота нижней кромки кучевых облаков и возможность экранирования определяются также из температуры. Вертикальное распределение температуры и влажности воздушных масс, изображенное в диаграмме, определяет многие погодные процессы решающим образом и поэтому является основным положением для предсказания погоды. Планерист должен разбираться в этих вопросах настолько, чтобы самостоятельно делать выводы из метеорологических сводок или из собственных измерений. Выбор следующих тем определялся именно с этой точки зрения.

#### МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПЛАНЕРИСТОВ

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА МАКСИМАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ТЕРМИКОВ ПО ВЕРТИКАЛЬНОМУ РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ ЭНЕРГИТИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА.

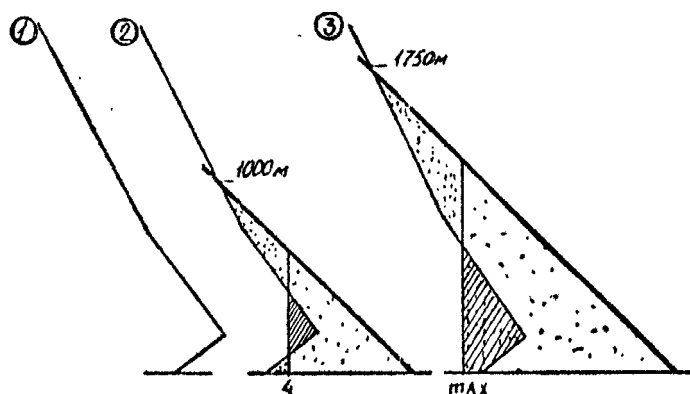


схема3, схема 4

На рисунке в левой части показано вертикальное распределение температуры в 6 часов в течение утра. Воздушные массы у земли нагреваются солнечным излучением, их температура с высотой изменяется по сухой адиабате ①.

В связи с этим в нижнем слое атмосферы начинаются конвекционные движения воздуха. Величиной площади между новым и старым распределением температуры определяется количество энергии, полученной воздухом от солнца. Эта площадь называется площадью энергии. При каждом положении солнца на землю поступает определенное количество энергии. На изображении ② между «нулевым распределением температуры и жирной черной линией – адиабатой, располагается энергия, полученная приземным воздухом в безоблачный летний день в первые 4 часа после восхода солнца. Черный треугольник под сухой адиабатой равен этой площади, если заштрихованная площадь равна площади, обозначенной частыми точками. Изображение ③ показывает соответственные площади для полудня, т.е. для момента максимального прогрева. Т.к. величины излучаемой солнцем и поглощаемой воздухом энергии взаимосвязаны, то интенсивность развития термик в каждый момент определяется с помощью диаграммы. Чтобы быстро получить ответ на такие вопросы, из имеющейся диаграммы при дневном излучении, можно начертить соответствующую диаграмму на прозрачном материале, как это делается в обсерватории летной погоды Гамбурга по предложению Н.Яэкиш (Возможность таких измерений была высказана еще в 1933 году Е.Гольдом). Такая диаграмма изображена на рисунке.

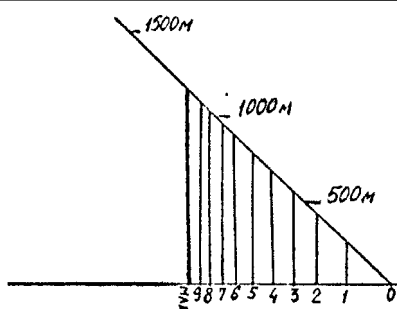


схема 5

Вертикально идущие линии – это изотермы. Площади энергии для каждого часа времени являются секторами площадей, идущими от линии земли до сухой адиабаты. В случае, когда время считают от восхода солнца, площади энергии являются треугольниками. Обычно так бывает не часто, т.к. по утрам имеются только средние ночные данные зондов. Высота развития термиков к определенному моменту после восхода солнца определяется следующим образом:

Мы наносим прозрачную пластинку с диаграммой на адиабатическую линию так, чтобы "линия земли" лежала на высоте полета. Затем боковым сдвигом выбираем такое положение прозрачной пластинки, чтобы примерно уравнились рассмотренные выше площади. Точка пересечения сухой адиабаты с линией распределения тактической температуры показывает высоту развития термиков к данному моменту времени. Это показано в изображениях ② и ③ на рисунке. Можно, конечно, выполнить и обратную задачу и определить, к какому времени высота развития термиков достигнет минимально пригодной для полета величины, (например, 800 метров). Удобство этого метода в том, что мы можем определить время заданной высоты развития термика без измерения температуры воздуха на высоте полета достаточно точно, если прогреву земли солнцем ничто не мешает. Этот способ применим как для определения момента первых термиков, так и для определения времени начала образования облаков. Для такого прогноза необходимо только запросить по телефону в обсерватории погоды распределение фактической температуры по высоте и величину площади энергии. В этом случае собственные исследования температур не являются необходимыми.

#### ТЕРМОГРАФ.

Термограф записывает ход температур в течение дня. Эта кривая особенно полезна в тех случаях, когда у планериста имеется «нулевое» (ночное) распределение температур на месте. По форме этого распределения можно определить, существует еще или нет ночная инверсия: пока из-за инверсии конвективный приземный слой еще невелик по толщине, температура воздуха у земли повышается очень быстро. Но как только инверсия преодолевается, конвективный слой сразу становится намного толще, тепловая энергия солнца распределяется на более толстые слои воздуха и поэтому после распада инверсии температура повышается очень медленно. На ленте термографа после резкого подъема начинается плавное изменение температуры.

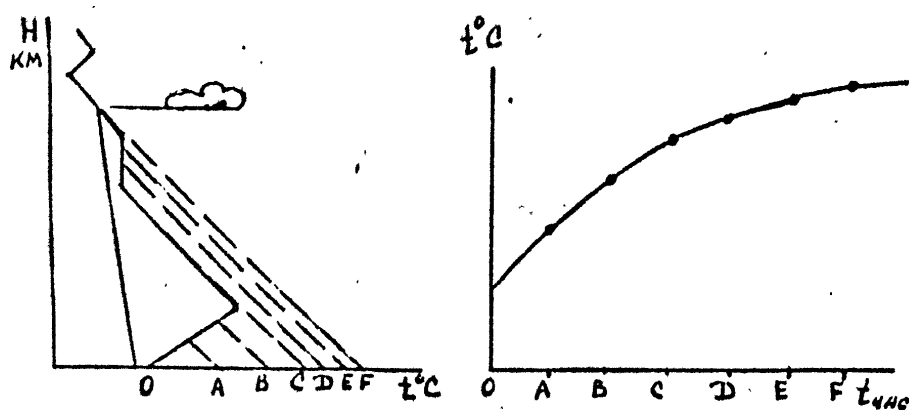


схема 6

С этого момента термики уже можно использовать для продолжительного парящего полета. Это может быть раньше, чем появятся кучевые облака - явные указатели потоков. К сожалению, термограф - еще не очень дешевый прибор, который к тому же должен устанавливаться в воздушных камерах, защищенных белым покрытием. Несмотря на это, владельцам планеродромов следует подумать - не оплатить ли все-таки эти издержки, чтобы лучше использовать состояние метеоусловий для полетов.

## ПРАЩА-ТЕРМОМЕТР.

Если в наличии нет никакого прибора, записывающего температуру в течение дня, мы можем обойтись тем, что будем время от времени измерять температуру воздуха и наносить на график. Для этого применяется термометр, который несколько минут вращают за ручку, чтобы избежать неточности измеряемой температуры воздуха из-за нагревания солнцем корпуса прибора.

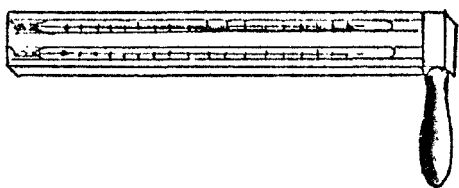


схема 7

Прибор, кроме этого, делает возможным определение влажности воздуха (праща-психрометр). Он имеет кроме нормального сухого термометра еще один термометр, у которого камера с рабочей жидкостью обернута матерчатым чехлом. Перед измерением чехол смачивается дистиллированной водой. Прибор вращается за ручку 3-6 минут на открытом месте, по возможности в тени облака пока показания термометров не установятся постоянными. С влажного термометра при этом испаряется вода. В связи с этим он охлаждается и показывает температуру ниже, чем первый. Т.к. испарение в сухом воздухе больше, чем во влажном, можно по измеряемым температурам судить о влажности воздуха. Высоко поднявшийся термик «питается» преимущественно из нижних слоев воздуха, поэтому с помощью выводов о температуре у земли мы можем определить и уровень конденсации, т.е. высоту нижней кромки кучевых облаков. Н.Нэкиш изготовил график, с помощью которого эту высоту можно определить прямо из измерений температуры.

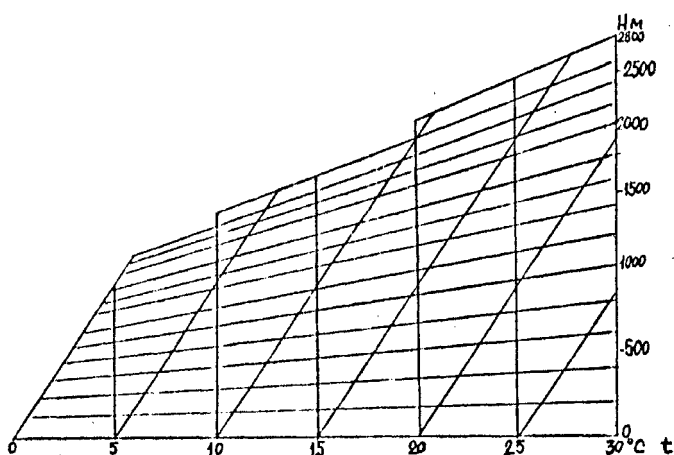


схема 8А

Полученная высота кромки облаков содержит информацию даже в том случае, когда облаков нет вообще. Это значит, что не дойдя до уровня конденсации, развитие термиков задерживается находящимися ниже слоями изотермии или инверсии.

## ИЗМЕРИТЕЛЬ ПРИЗЕМНОГО ВЕТРА.

Имеются различные и довольно точные приборы для измерения скорости и направления ветра. Хотя приборы, работающие по принципу скоростного напора, имеют малые времена замедления (инерцию), но они могут служить только как датчики шквала. Чашечные анемометры реагируют на изменение скорости ветра более вяло и показывают средние её значения. Приборы должны устанавливаться в открытых местах, чтобы устранить влияние помех, на международно-согласованной высоте около 10 метров. Для наземных нужд применяется обычно дешёвый чашечный анемометр. Этот прибор величиной с карманный фонарь свободно умещается в руке. После небольшого навыка им можно очень хорошо определять и усиление ветра. Не говоря о его неоспоримой ценности для обеспечения безопасности полетов, умеренные им показания, являются только условно необходимыми для планеризма, так как на высотах свыше 500 метров скорость ветра увеличивается примерно в два раза, направление для взлета и посадки определяется им с точностью  $\pm 10^\circ$ . Однако и эта информация бывает полезна для навигационных расчетов. Конус, без которого не обходится ни один аэродром, даёт аналогичную информацию. Если установить несколько больших конусов в разных углах аэродрома, то планерист может определить наличие термики в районе аэродрома перед стартом, по различному положению конусов, т.к. на земле воздух стекается к месту освобождения термика.

## НЕФОСКОП ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА НА ВЫСОТЕ ПОЛЕТА.

Скорость и направление ветра на высоте облаков измеряется с помощью зеркала, если известна высота облаков над уровнем аэродрома. Наземная служба, получив запрос от пилота о скорости и направлении ветра, проводит эти измерения. Особенно необходимы эти сведения для расчета долета, когда пилоту необходимо рассчитать значение необходимой исходной высоты и скорости на последнем участке полета.

Нефоскоп можно использовать только при наличии облаков, как говорит за себя это название. Т.е. при безоблачных термиках прибор не поможет. В этом случае единственным точным средством измерения будет запуск шара зонда.

Нефоскоп можно изготовить самому из круглого зеркальца.

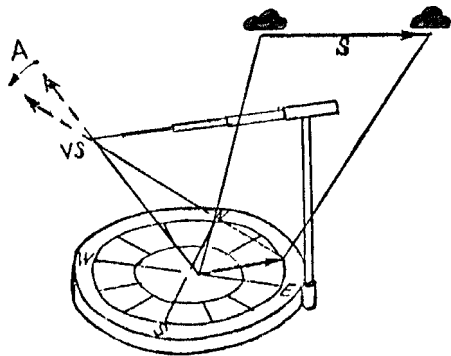


схема 8

Кроме розы ветров, на нем наносится маленький центральный круг с радиусом 1 см и два круга с радиусом 2 см и 4 см. Для прицельной штанги лучше всего употребить стальную проволоку, используемую при построении моделей. Из неё же изготавливается переносная антенна и измерительная трубка. Конец прицела, устанавливаемый точно на 21,6 см над поверхностью зеркала, должен быть подвижным и вращаться. Для очень сильных или очень слабых ветров рекомендуется соответственно расстояния 10,8 см и 43,2 см.

### ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЯ.

Если облако проходит расстояние  $S$ , то его отражение проходит на нефоскопе расстояние  $S'$  за время  $t$  секунд.

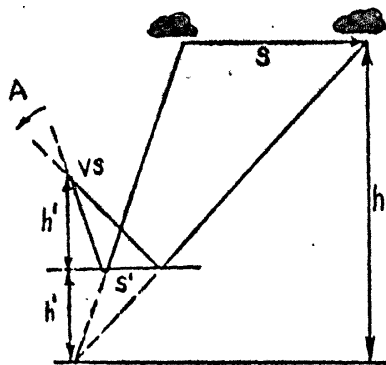


схема 9

Конец прицела находится на высоте  $h'$  над поверхностью зеркала, в то время как высота облака составляет  $h$ . Строго говоря, поверхность зеркала должна иметь высоту  $h'$  над уровнем аэродрома. Но т.к.  $h$  по сравнению с  $h'$  намного больше, то этой неточностью можно в практике пренебречь. Из схемы №9 видно, что  $\frac{S}{S'} = \frac{h}{h'}$ ;

$$\text{Скорость движения облака } V = 3.6 \cdot \frac{S}{t}.$$

Если  $S$  взято в метрах,  $t$  — в секундах, то скорость  $V$  в км/час.  $S = \frac{S' \cdot h}{h'}$ ;  $\Rightarrow V = 3.6 \cdot \frac{S'}{h'} \cdot \frac{h}{t}$ , где  $V$  — км/час,  $S'$ ,

$h', h$  — метры и  $t$  в секундах.

$S'$  и  $h'$  выбраны такими, что первый множитель получается равный 1. Этим облегчаются расчёты по измерениям



$$S' = 6 \text{ см}, h' = 21.6 \text{ см} \quad 3.6 \cdot \frac{6}{21.6} = 1;$$

Тогда скорость облака вычисляется по формуле:  $V = \frac{h}{t}$ .

Если скорость облака измеряется на базе  $\frac{1}{2}S'$ , то она получается в два раза меньшей, так же как и при удвоении  $h'$ . Теперь становиться ясным, что нефоскоп применим, когда направление ветра совпадает с плоскостью пеленгации облака, т.е. когда запеленгованное облако движется точно на нас или от нас. Окрашенные линии  $S$  и  $S'$  на схеме 8 можно интерпретировать и пространственно, например, так, будто облако проходит далеко за плоскостью

изображения. Тогда получается пропорция:  $\frac{S}{S'} = \frac{h}{h'}$ ; как показано на схеме 10.

$$\frac{h}{h'} = \frac{a + a'}{a'} = \frac{S}{S'};$$

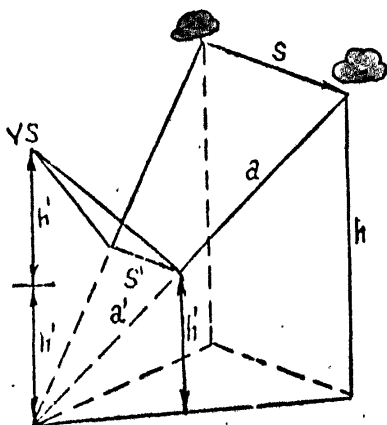


схема 10

Если плоскость зеркала расположена не горизонтально, то мы измеряем неполную длину отражения. Однако пропорция  $\frac{S}{S'} = \frac{h}{h'}$  сохраняется, что и лежит в основе измерения нефоскопом.

### ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЯ.

(Высота конца прицела над плоскостью зеркала  $h' = 21,6$  см)

1. Нефоскоп выравливается горизонтально и ориентируется с помощью компаса так, чтобы отметка «юг» показывала на север, т.к. ветер определяется по направлению на ту сторону, откуда он дует.
2. Край облака запеленговывается глазом так, чтобы оно появилось в центре зеркала.
3. Прицел устанавливается так, что он закрывает центр зеркала (а также и отражение в нем края облака).
4. Прицел и край облака движутся к краю зеркала. Секундомером измеряем время между оставлением центрального круга зеркала и пересечением с внешним кругом зеркала (6см).
5. Место, в котором облако пересекает внешний круг, дает направление ветра.

Скорость движения облака получается как частное:

$$V_{\text{облака}} = \frac{S_{\text{облака}}(\text{м})}{\text{измеренное время}(\text{сек})}$$

для точности определения скорости ветра, измерения проводят дважды: один раз с подветренной стороны и один раз - с наветренной, чтобы исключить ошибку за счет роста облака. Полученная таким образом скорость умножается ещё на поправочный коэффициент (для «молодого» облака 1,3), чтобы учесть тот факт, что молодые развивающиеся облака имеют обычно меньшую скорость движения, чем ветер на их высоте.

### МЕХАНИКА ТЕРМИЧЕСКОЙ КОНВЕКЦИИ.

Для планеризма, использующего термические потоки, очень важно знать картину не только того, где развивается

термик, но также и как поднимается этот воздух, какие потоки в нем образуются, где находится его центр и т.д.

К сожалению, эта область исследования встречает большие трудности из-за множества вариационных возможностей. Метеоролог Рихард Скорер проделал в этой области основополагающую экспериментальную работу.

На основе потоков жидкости различной плотности и окраски оказалось возможным найти закономерности, которые подтвердились измерениями и открытиями в области планеризма, по крайней мере, при определенных состояниях погоды.

### ИЗОЛИРОВАННО ПОДНИМАЮЩИЙСЯ ТЕРМИЧЕСКИЙ ПУЗЫРЬ.

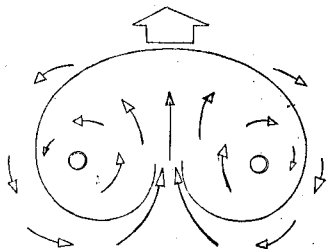


схема 11

Воздушный пузырь поднимается изолированно в воздушной массе, которая располагается слоями адиабатически и свободна от действий ветра. Этот самый простой случай термика даёт картину клубящегося кольца. Его возникновение подобно образованию колец дыма при курении или из трубы паровоза. При этом клубящееся кольцо движется вверх и одновременно вращается вокруг самого себя, вокруг оси круглой формы. Самая большая вертикальная скорость - в середине этого "бублика". Она тем больше, чем скорость подъёма самого "пузыря". Во время своего подъёма "пузырь" увеличивается, растёт, захватывая в свой центр окружающий воздух, продвигается вверх и в верхней части смешивается с окружающим воздухом с образованием более мелких завихрений. Лучший пример конвекционной механики - это клубящаяся шапка облачного гриба, который образуется при атомном взрыве в атмосфере (который, надеемся, больше никогда не произойдёт). Схема потока, которая лежит в основе этого рисунка, доказана экспериментально. Она очевидна и ясна, но обладает, однако, тем недостатком, что термик в действительности ведет себя гораздо сложнее. Большой частью, поднимающийся теплый пузырь ещё некоторое время питается согретым приземным воздухом и делает возможным набор высоты после явного окончания термика. Если бы все потоки были круглыми, тогда все кучевые облака имели бы поперечное сечение также круглой формы. Точно в центре находилась бы зона максимальной скороподъёмности. Этого, как мы знаем, обычно не бывает. Помехи, одностороннее влияние солнечного излучения и многое другое сильно искажает картину. Однако схема клубящегося гольца остаётся важной и объясняет многие феномены, если их рассматривать с точки зрения вышесказанного. Из схематического рисунка, например, ясно, что в нижней части пузыря из-за стремления воздуха к середине очень легко найти центр потока - планер буквально "засасывается" в поток.

При наборе спиралью это засасывание также сказывается выгодным образом, тогда как дальнейший набор к вершине затрудняется из-за турбулентности и растекания воздуха в стороны. Картина потока также объясняет то, что планеру, находящемуся в нижней части «пузыря», быстро удастся догнать планер, парящий в верхней его части, так что в скоре здесь собирается несколько планеров на одинаковой высоте.

### ТЕРМИК С НЕПОДВИЖНЫМ ИСТОЧНИКОМ ПРИ ВЕТРЕ.

При подъеме теплого воздуха из промышленных труб (градирен, скрубберов, холодильников) при слабом ветре происходит закручивание в его струе. Её поперечное сечение становится похожим на сечение термического пузыря. Если термик имеет большой объем тёплого воздуха, то мы можем при слабом ветре набирать в нем высоту спиралью.

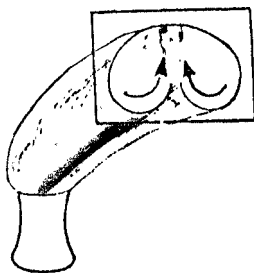


схема 12

Т.к. скорость подъёма воздуха внутри струи больше, чем скорость подъёма в ней планера, то для сохранения высокой скороподъёмности необходимо постоянно вытягивать спираль в подветренную сторону. При парении же свободном термике спираль рекомендуется вытягивать в наветренную сторону. В практике встречаются оба случая,



но чаще рекомендуется вытягивание спирали в наветренную сторону.

### ИЗМЕРЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ.

Ещё до второй мировой войны в Германии начали производить испытательные полеты для исследования конвективных потоков. Многочисленные исследования Ленинградской геофизической обсерватории в 1967 - 69 годах подтвердили полученные ранее результаты и уточнили их. Д.Коновалов опубликовал в 1970 году в ОСТИВ сообщение об этих исследованиях. Все исследованные термики делятся им на нормальные и узкие по отношению их диаметра к высоте, т.е. каждая группа определяется профилем термика. По диаметру термика и его скороподъемности статистически выясняется два основных типа термиков.

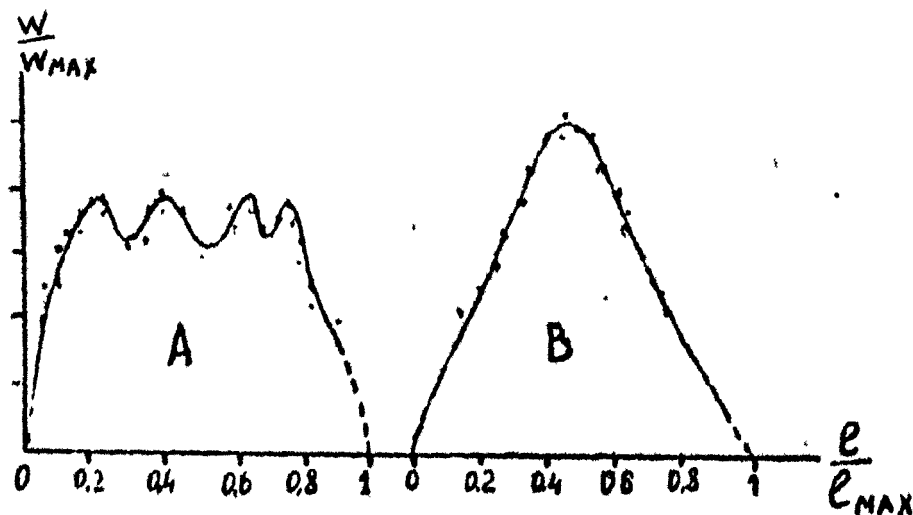


схема 13

«А» - тип.

Имеет наибольшую ширину у зоны максимальных скороподъемностей. Его диаметр больше, чем у «В» - типа, турбулентность на краях больше, чем в середине.

«В» - тип.

Схема которого была предложена, прежде всего, выводами экспериментов Скорера, воплощает слабый подъем (см. схему «термический пузырь»). Вероятность образования термиков такого типа уменьшается с ростом температурного градиента в слое до 300 метров. Термик типа «В» имеет меньший диаметр, и если он относительно силен, то в этом случае и очень узок. Обычно турбулентность в нём слабая, она несколько сильнее вблизи центра.

Термики типа «А» и «В» образуются одновременно. Чем лучше условия термика (больше градиент температуры у земли до высоты 300 метров), тем больше сдвигается статистика термика в направлении типа «А». Опытные планеристы не слишком этому удивляются. Сильные потоки чаще всего относительно велики по площади и имеют широкие, однако чаще всего небольшие, диапазоны высоты хорошего подъема. Полностью охватить проблему профиля термика почти невозможно. Опыты Коновалова состоялись при почти полном штиле. При ветре, топографических влияниях и всех дополнительных условиях, влияющих на нормальную структуру термика, результаты таких опытов чрезвычайно усложняются. И всё же эти выводы наглядно показывают нам, что какие-либо равномерные профили термиков нереально принимать за типичные. Самые последние исследования тоже установили, что термики неравномерны по своей структуре. Зона подъёма в своём сечении может быть любой формы, и не обязательно круглой. К статистическим исследованиям нужно относиться осторожно, по крайней мере, сегодня. Грубое представление о действительной структуре термиков мы можем получить, прежде всего, наблюдением за образованием облаков и парением птиц. Хотя для конструкторов планеров это крайне неудовлетворительно, но не имеет смысла рассчитывать планеры по одним статистическим характеристикам одного типа термика, может быть соответствующим действительности, так как пилоты в первом же, отличающемся от среднего, термике, будут испытывать трудности. Отклоняющаяся от средней, картина термика является даже обычной.

### ПОЛОЖЕНИЕ ПОГОДЫ ДЛЯ ПЛАНЕРИЗМА НА ТЕРРИТОРИИ ГЕРМАНИИ И ГРАНИЧАЩИХ С НЕЙ СТРАН.

В.Георгий исследовал и описал характерные положения погоды различных времён года на территории Германии по её использованию для планеризма. Вытекающие отсюда закономерности должны помочь нам, по крайней мере, узнать типичные положения погоды, подходящие для планеризма по телевизионной карте погоды, чтобы вовремя обратиться к обсерватории погоды, не пропустить хороших возможностей для планеризма. Разумеется, что из-за

сложности погодных процессов мы здесь даем только конкретный, ни в коем случае не обобщенный обзор. В других случаях погодные процессы могут протекать совсем по-другому. Тогда метеорологическая консультация остается на заднем плане.

Еще раз отметим, что данный раздел применим в полной мере только к территории Германии (может быть даже не ко всей), пытаться полностью перенести все описанное здесь на, к примеру, территорию Украины, европейской части России или тем более на Зауралье не следует.

#### **ПОЛОЖЕНИЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ (ЦЕНТР АНТИЦИКЛОНА, БЛАГОПРИЯТНЫЙ ВЕСНОЙ).**

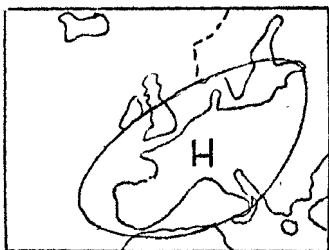


схема 14

Летом у нас редко бывает такое положение погоды, когда возникают термики средних скороподъёмностей без облаков или с очень малым их количеством со слабым ветром и умеренной видимостью. Приемлемые термики начинаются после прогрева мощного слоя приземной инверсии, в горной местности они начинаются раньше. Положение центра антициклона во время благоприятных для полёта весенних и летних месяцев, к сожалению, бывает не часто. Осенью, при таком положении, солнечного излучения бывает недостаточно, чтобы достаточно рано «пробить» её вообще.

Такое положение очень хорошо подходит для полётов в цель с возвращением и по треугольным маршрутам в направлении на центр антициклона. Наиболее благоприятны в этом случае горные области.

#### **ОБРАТНЫЙ ХОД ПОГОДЫ (ЮГО-ЗАПАДНОЕ, СЕВЕРО-ЗАПАДНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ВЕТРА).**

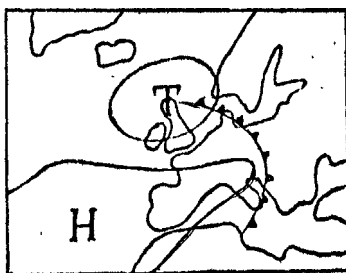


схема 15

Прохождение холодных фронтов и окклюзий относительно часто создаёт благоприятное положение погоды для полетов на планерах в течение всего лётного сезона. Это связано с прибытием холодного неустойчивого воздуха полярного происхождения и протекает следующим образом:

В первый день после прохождения фронта при повышающемся давлении и отличной видимости погода очень ветреная и неустойчивая. В горных областях в это время бывает пыльная облачность и ливни. Хотя термики очень мощные, однако, велика опасность из-за мощного развития облаков и сильной турбулентности. В дальнейшем погода выравнивается, ветер стихает, прекращается ливневая деятельность. Более быстрому прохождению фронта способствует равнинная плоская местность. Чем большее влияние на погоду оказывает зона высокого давления, тем слабее ветер и выгоднее полёты по треугольным маршрутам.

## ПОЛОЖЕНИЕ ПОГОДЫ ПРИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫХ И ВОСТОЧНЫХ ВЕТРАХ.

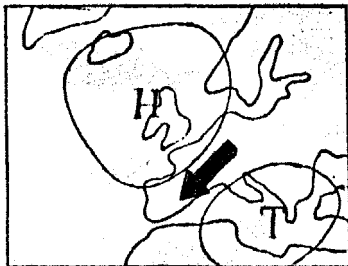


схема 16

Это благоприятные весенние положения для полётов на дальность по ветру. По статистике, такое распределение барических систем бывает чаще всего от середины до середины июня, и даёт нам возможность для полётов на запад и юго-запад. В этих случаях приходит богатый сильными ветрами воздух из северо-восточной Европы с относительно хорошей видимостью, с благоприятным профилем ветра, способствующим образованию облачных гряд с большими скороподъёмностями. В то время как в Южной Германии склонность к образованию термикозов затруднена, начинающиеся термики благоприятствуют длительным полетам над равнинной местностью Северной Германии. Ветер усиливается реактивным эффектом параллельно расположенных гор. Лучше всего проводить такие полеты на дальность от северогерманского пространства в направлении Бордо или из южно-немецкой территории через Ронеталь в направлении Марселя. При подобном расположении барических систем выполнялись все среднеевропейские полеты на дальность по прямой свыше 1000 км (Г.В.Гроссе – 25 апреля 1972 года – 1460 км полёта на открытую дальность и 16 апреля 1974 года – 1230 км полёта в цель).

## ПОЛОЖЕНИЕ ПОГОДЫ ПРИ ЗАПАДНОМ НАПРАВЛЕНИИ ВЕТРА (БЫВАЕТ БЛАГОПРИЯТНЫМ ТОЛЬКО ПРИ АНТИЦИКЛОНЕ).

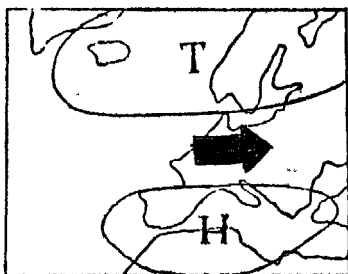


схема 17

Такое положение барических систем даёт нам летом долгие дождливые периоды. В зоне между растягивающейся системой низкого давления Северного моря и широкой Средиземноморской зоны антициклона вдоль почти прямых изобар движется морской воздух. Если влияние южного антициклона все-таки большое, то есть надежда на погоду для планеризма. Приходящий при этом тропический тёплый воздух термически неустойчив и способствует образованию восходящих потоков. Однако возможности полётов ограничены склонностью к чрезвычайному развитию облаков, ливням и грозе. Такое антициклональное положение подходит по совокупности силы ветра и потоков как для замкнутых полётов с возвращением к месту старта, так и для полётов на дальность. Зимой при этом возможны полёты в волновых потоках на средних горах, ось которых протянулась в направлении севера при влиянии зоны тёплого сектора северного циклона.

## ПОЛОЖЕНИЕ ПОГОДЫ ПРИ ЮГО-ЗАПАДНОМ НАПРАВЛЕНИИ ВЕТРА.

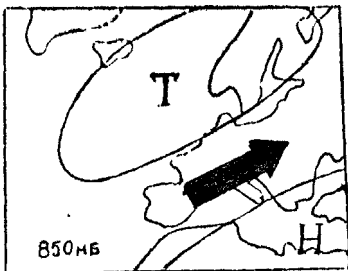


схема 18

Юго-западный ветер обуславливает летом хорошие возможности для полетов. Такое расположение барических систем должно наблюдаться на высотной карте 850 мб., хотя летом такое бывает редко. На Земле существуют

незначительные нетипичные связи давления. Они проявляются на высотах 850-500 миллибар. При этом ветер с высотой усиливается и часто образуются не только термики, но и термические волны. Субтропический тёплый воздух с юго-запада склонен летом к образованию ливней и гроз. Во время зимы такое положение бывает чаще и способствует образованию подветренных волн в средних горах и Альпах.

#### ПОЛОЖЕНИЕ ПОГОДЫ ПРИ ЮЖНОМ НАПРАВЛЕНИИ ВЕТРА.

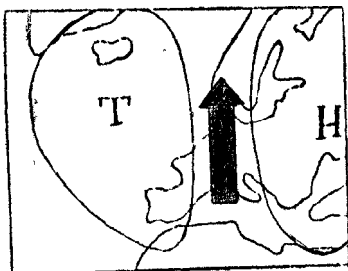


схема 19

Такое расположение барических систем приносит сухой южный воздух через Альпы. При достаточной скорости ветра возникают подветренные волны. Статистически благоприятное время для полетов с использованием фёна на северной стороне Альп бывает от 9 до 13 ноября, а также от 27 до 29 декабря.

#### КОНСУЛЬТАЦИИ СЛУЖБЫ ПОГОДЫ ДЛЯ ПРЕДПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ПОЛЕТОВ.

Сотрудничество планеристов с местными отделениями службы погоды часто бывает недостаточно тесным. При посещении метеорологи радуются нашему интересу к их работе и охотно готовы координировать свои прогнозы с нашими требованиями. Современные задачи метеорологов, для решения которых они и получают образование, не имеют с нашими проблемами почти ничего общего. Поэтому полётные прогнозы для планеристов связаны для метеорологов с большими трудностями. Мы должны это признать и выразить нашу благодарность. Одно из важнейших положений сотрудничества – это обратная информация. Если метеоролог регулярно узнаёт, соответствуют ли его предсказания действительности или насколько погода развивается по иному, то он может контролировать свои прогнозы и со временем сделает их точнее. Эта обратная информация с нашей стороны должна приноситься в человечески правильном тоне, если учесть, что эта дополнительная и, как правило, трудная работа нужна не только для нас, но и для будущих поколений планеристов.

#### ФОРМУЛЯР ПРОГНОЗА.

Из таких соображений в сотрудничестве обсерваторий лётной погоды разработан формуляр прогноза, бланки которого изготавливаются как на метеостанциях, так и на местах полётов. Метеостанции заранее предупреждены о сроках, они обрабатывают материалы измерений и к 8.30 готовы передать значения заполненного формуляра по телефону. Это происходит очень быстро, стоит недорого и информативно точно.

Конечно, было бы благоприятнее сделать такую передачу ещё раньше, однако это невозможно, т.к. не хватит времени для утренних измерений в данном районе. Может быть, было бы удобнее дополнить формуляр ещё одним столбцом, в котором при возможности вносить значения вертикального распределения температуры по высоте. После полётов ежедневный формуляр исправляется или подтверждается наиболее опытными планеристами и по возможности доставляется на метеостанции для контроля прогноза. Конечно, можно и это выполнить опять, по телефону. С тех пор, как мы начали пользоваться формуляром, планеристы перестали ставить перед метеослужбой неквалифицированные вопросы, и это делает всё сотрудничество заметно интенсивнее и плодотворнее.

#### ОБРАЗЕЦ БЛАНКА ФОРМУЛЯРА.

Прогноз погоды для парящих полетов.

Метеостанция (название города) по погоде в радиусе 100км. Телефон..... дата..... Время.....

Метеоролог (подпись).....

- 1.Общее состояние...
- 2.Отдельные предсказания, их время и проявление...
- 3.Направление и скорость ветра у земли и по высотам...
- 4.Высота инверсии...
- 5.Облачность. Вид, высота, количество...
- 6.Видимость.
- 7.Время начала образования кучевых облаков, их верхний и нижний край...
- 8.Характеристики потоков...
- 9.Особенности...

## 10. Перспективы на завтра.

Формуляр заполняется метеостанцией лишь по тем данным, которые могут быть проверенными, т.е. достоверным. В общем, состоянии и нескольких словах делается набросок общего состояния погоды (положение барических систем, фронтов и их влияние). Наблюдения и результаты измерений всегда приближённые. Уточнение прогноза всегда составляет различную трудность в зависимости от общего положения. При антициклональной погоде прогноз бывает проще и точнее, но при прохождении фронтов прогноз затрудняется и становится неточным. Приземный слой инверсии разрушается в разное время в зависимости от условий местности и интенсивности солнечного излучения. Температура разрушения получается из кривой температуры. Тот момент, когда её величина станет достаточной для разрушения, зависит от помех солнечному излучению, поэтому время разрушения инверсии даётся также приближённо. Момент образования облаков также зависит от излучения. Верхняя граница конвекции прогнозируется по ходу кривой стратификации (распределения фактических температур) и интенсивности излучения более или менее точно. По приведенным здесь положениям и ожидаемому ветру мы судим о характере термиков.

В особенностях указывается возможная грозовая неустойчивость, прохождение фронта, а также достоверность вышеизложенных показаний, склонность к образованию гряд или безоблачных термиков.

Перспективы на следующий летный день возможны только в форме общей тенденции.

### ОПТИМАЛЬНАЯ ТРАЕКТОРИЯ ПОЛЕТА.

Оптимальная траектория достигается выдерживанием оптимальной скорости ни планировании. Скорость определяется графически или аналитически. С правильной расчетной траекторией можно лететь на любом режиме полёта: при имеющейся высоте планировать как можно дальше или между имеющимися восходящими потоками лететь так, чтобы средняя воздушная скорость была максимальна.

Расчёты и графики здесь выполнены для планеров стандартного класса, в основном для "АСВ-15". Наибольшая часть результатов подходит и для планеров другого типа.

### СОКРАЩЕНИЯ:

Геометрические величины:

**e** - общее расстояние

**a, b**- длины отрезков пути

**h**- высота

**-h**- потери высоты

**h<sub>25</sub>**- расчетная высота, необходимая для долёта 25 км

**E**- котангенс угла глиссады (относительная дальность)

**A**- изображение поляры для измененной нагрузки на крыло

**SP**- траектория подъёма

**$\alpha$** - угол траектории подъёма

Время:

**t**- продолжительность полёта

**t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>**- время полета по отрезкам

Горизонтальная скорость:

**V**- скорость по траектории = горизонтальная скорость.

**V<sub>s</sub>**- скорость относительно земли (путевая скорость).

**V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>**- скорость на отрезках пути a, в

**V<sub>R</sub>**- средняя путевая скорость

**V<sub>RM</sub>**- средняя скорость при полёте по классическому способу.

**V<sub>RD</sub>**- средняя скорости при полёте стилем «дельфин».

**V<sub>RO</sub>** - максимально возможная оптимальная средняя скорость.

**V<sub>RZ</sub>** - увеличение средней скорости

**W<sub>K</sub>** - скорость ветра

Вертикальная скорость:

**W<sub>m</sub>**- метеорологическое вертикальное движение воздушной массы

$W_{ma}, W_{mb}, W_1, W_2$  - вертикальная скорость движения воздушной массы на отрезках пути

$W_S$  - скорость собственного вертикального движения планера (всегда отрицательна).

$S_t$  - скороподъемность планера /  $W_S + W_m > 0$  /.

$S_i$  - скорость снижения планера /  $W_S + W_m < 0$  /.

$ST$  - хорошая скороподъемность.

$st$  - плохая скороподъемность.

$W_{IF}$  - скороподъемность при скорости восходящего потока.

### ПОЛЯРА СКОРОСТЕЙ ПЛАНЕРА.

Исходным пунктом для определения оптимальной скорости полета является поляр скорости планера. Поляра скорости планера соответственно своему названию строится в полярных координатах. Одной из координат в этом случае является величина вектора скорости движения планера по траектории, а другой - скорость собственного

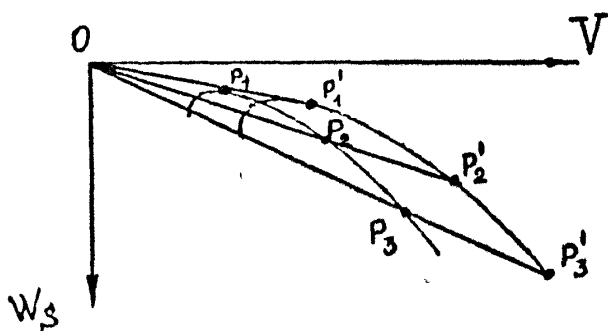
снижения планера  $W_S$ . Она определяется для одного полетного веса и указанной в диаграмме нагрузки на крыло  $\frac{G}{F}$ .

Удельная нагрузка на крыло определяется как общий полетный вес (планер + пилот + водобалласт), деленный на площадь несущей поверхности. Удельная нагрузка на крыло дана в кгс / м.кв. Летая на планерах с водобалластом, следует учитывать, что поляр скорости планера находится в прямой зависимости от удельной нагрузки на крыло.

### РАСЧЕТ ПОЛЯРЫ ПЛАНЕРА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УДЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА КРЫЛО.

График будет точным, если каждая точка поляры будет отложена в одном и том же масштабе относительно начала координат. Изменение скорости определяется соотношением  $\frac{\sqrt{\text{новой удельной нагрузки на крыло}}}{\sqrt{\text{старой удельной нагрузки на крыло}}}$ .

На изменение числа Рейнольдса при этом не обращают внимания.



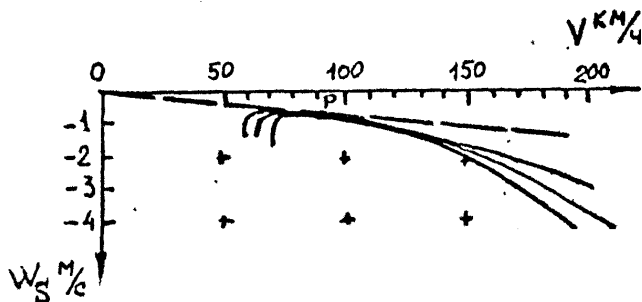
На рисунке дан график изменения поляры при изменении удельной нагрузки на крыло в масштабе 3:2.

$$\left( \frac{\overline{OP'_1}}{\overline{OP_1}} = \frac{\overline{OP'_2}}{\overline{OP_2}} = \frac{\overline{OP'_3}}{\overline{OP_3}} = \sqrt{\frac{G}{F}} : \sqrt{\frac{G}{F}} \right)$$

### ПЛАНИРОВАНИЕ ПО ПРЯМОЙ

#### а. ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ В СПОКОЙНОМ ВОЗДУХЕ.

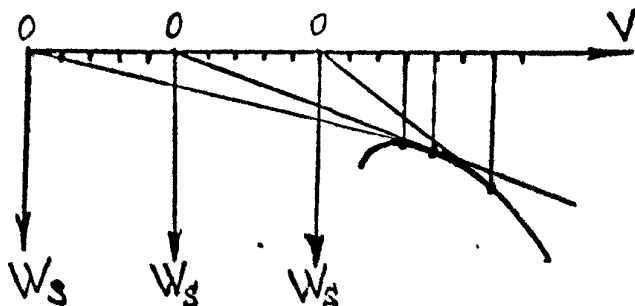
Очевидно, что наибольшая средняя путевая скорость при переходе достигается в том случае, когда оптимально соотношение горизонтальной и вертикальной скорости планера. Графически это определяется точкой касания поляры прямой, проведенной из нуля.





На рисунке даны три различные поляры для разных удельных нагрузок на крыло. Касательная для всех трёх поляр одна и та же, но точка касания Р отмечена только для поляры с нагрузкой 28 кгс/ м кв. Уклон касательной определяет наилучшую - степень планирования планера "АСВ-15" с качеством 38. С высоты 1000 метров можно пролететь расстояние 36 км. Эта степень планирования не зависит от удельной нагрузки на крыло. Лёгкий планер может лететь медленнее, со средней скоростью 90 км/час, тяжёлый - немного быстрее, чтобы достичь эту оптимальную степень планирования и пролететь как можно большее расстояние.

#### б. ПЛАНИРОВАНИЕ ПРИ ВЕТРЕ БЕЗ ВОСХОДЯЩИХ И НИСХОДЯЩИХ ПОТОКОВ.

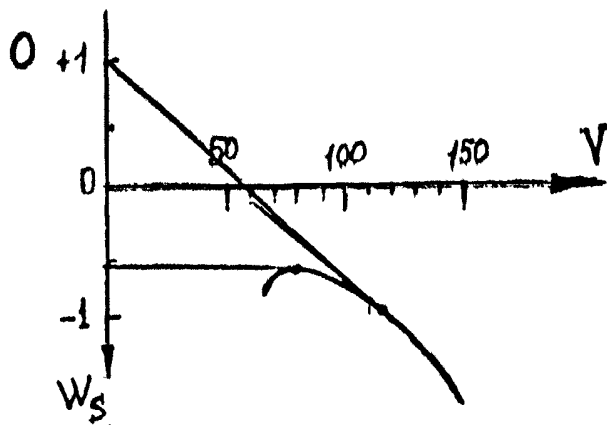


На рисунке изображены системы координат и касательные для попутного, встречного ветра и для безветрия. Движение воздуха позволяет планеру при встречном ветре медленнее и при попутном ветре быстрее двигаться относительно земли. При этом для получения оптимальной скорости. При встречном ветре поляра сдвигается назад на величину скорости ветра и при попутной - вперёд. На рисунке показаны результаты для планера "АСВ - 15" с удельной нагрузкой 28 кгс / м кв. Котангенс оптимального угла планирования при попутном ветре 50 км/час равен 60. При этом планер летит медленнее, чем при безветрии, со скоростью 60 км/час. При встречном ветре 50 км/час нужно лететь со скоростью 110 км/час, при этом котангенс угла планирования равен 18.

Отсюда следует, что при сильном попутном ветре нужно планировать немного медленнее, а при встречном ветре быстрее, чем при безветрии.

#### с. ПЛАНИРОВАНИЕ ПРИ БЕЗВЕТРИИ С ВОСХОДЯЩИМИ И НИСХОДЯЩИМИ ПОТОКАМИ.

Если воздушная масса, в которой мы летим, опускается, то величины снижения планера по поляре и снижения воздушной массы складываются. Поляра планера должна быть опущена на величину снижения воздушной массы.



На рисунке показан способ определения оптимальной скорости планирования при опускании воздушной массы для планера "АСВ - 15". Скорость равна 120 км/час, воздушная масса опускается со скоростью 1 м/сек, котангенс угла планирования меньше 16, вариометр показывает сумму снижения планера и воздушной массы, равную 2,05 м/сек.

Горизонтальная касательная на этом графике иллюстрирует случаи, когда воздушная масса поднимается со скоростью 0,58 м/сек. Если мы планируем со скоростью 73 км/ч, то горизонтальная касательная показывает, что собственное снижение планера как раз компенсируется подъёмом воздушной массы и мы планируем, не теряя высоты (котангенс угла планирования равен бесконечности). Вариометр стоит на нуле, и если воздушная масса поднимается ещё быстрее, то мы можем лететь со скоростью, меньшей, чем 73 км/час, чтобы при дальнейшем планировании подняться по возможности круче. Из этого примера мы видим, что каждому вертикальному движению воздуха соответствует определенная траектория планирования.

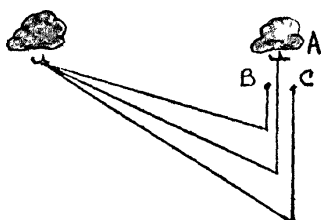
#### ПЕРЕХОД – СРЕДНЯЯ ВОЗДУШНАЯ СКОРОСТЬ

В настоящей главе будут рассмотрены те условия, при которых в результате взаимодействия планера с

окружающей средой возникают силы (подъемная и тянущая), обеспечивающие ему заданное движение.

### ПЛАНИРОВАНИЕ ОТ ОДНОГО ВОСХОДЯЩЕГО ПОТОКА К ДРУГОМУ В СПОКОЙНОМ ВОЗДУХЕ.

Скороподъемность в восходящем потоке принимается одинаковой на всех высотах. Речь идёт о скорости, на которой мы летим к восходящему потоку определенной силы, чтобы достичь наибольшей средней воздушной скорости, (в случае, когда воздушная масса, между восходящими потоками находится в покое). Хотя при переходе теряется высота, но в сильном восходящем потоке она быстро восстанавливается. Когда мы летим быстрее оптимальной скорости, то потеря высоты настолько велика, что выигрыша времени за счёт скорости больше недостаточно, чтобы восстановить увеличенную потерю высоты. Для каждого восходящего воздушного потока определенной силы имеется оптимальная траектория полёта, на которой достигается наивысшая средняя воздушная скорость.



На рисунке отчетливо видно, что пилот "А" летит успешно, в то время как пилот "В" теряет много времени. Пилот "С" достигает потока раньше пилота "А", но летит ниже и не может восстановить потерянную высоту. Это можно объяснить общей формулой для средней скорости:

$$\frac{V_{REISE}}{V} = \frac{S_t}{S_t - S_i}$$

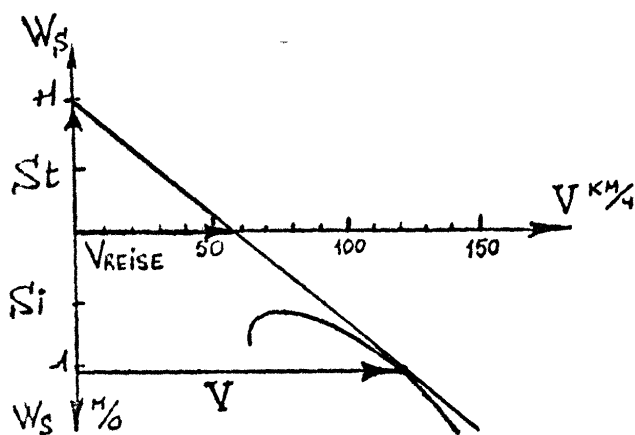
где

$V$  – скорость перехода

$S_t$  – подъём во время набора

$S_i = W_s$  – собственное снижение планера при переходе между потоками

$W_s$  – всегда отрицательная величина.



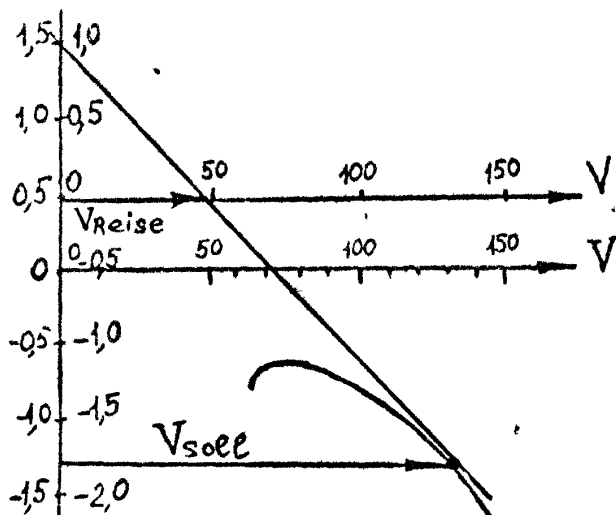
Из рисунка видно, что максимальная средняя скорость достигается на скорости перехода, определяемой касательной к поляре, проведенной из точки подъёма и равной отрезку, отсекаемому этой касательной на оси скоростей. Точка касания даёт также величину скорости снижения планера на этой скорости перехода.

В нашем примере скороподъемность составляет 1 м/сек для скорости перехода 120 км/час. Вариометр при этом показывает -1,05 м/сек. Средняя скорость составляет примерно 58 км/час. Этот график также подходит для отображения полета в нисходящем потоке. Оказывается, что планирование можно продолжать как со скоростью 120 км/час в спокойной воздухе при подъёме 1 м/сек, так и при снижении воздуха 1 м/сек. Для получения оптимальной скорости перехода кольцо Мак-Креди следует передвигать. При установке начальной метки кольца на значение ожидаемой скороподъемности стрелка вариометра укажет на оптимальную скорость.

### ПРЕХОДЫ ОТ ОДНОГО ПОТОКА К ДРУГОМУ В ТУРБУЛЕНТНОМ ВОЗДУХЕ.

Подъём в ожидаемом восходящем потоке известен и не зависит от высоты. Когда воздушная масса во время перехода движется вниз, необходимо по поляре рассчитать эффективную скорость планера. На нашем графике поляра

сдвинута вниз. Конечно, можно сдвинуть вверх систему координат.



На графике мы видим, что можно лететь со скоростью 134 км/ч, когда воздушная масса между восходящими потоками опускается со скоростью 0,5 м/сек и следующий восходящий поток даст скороподъемность 1 м/сек. На рисунке:

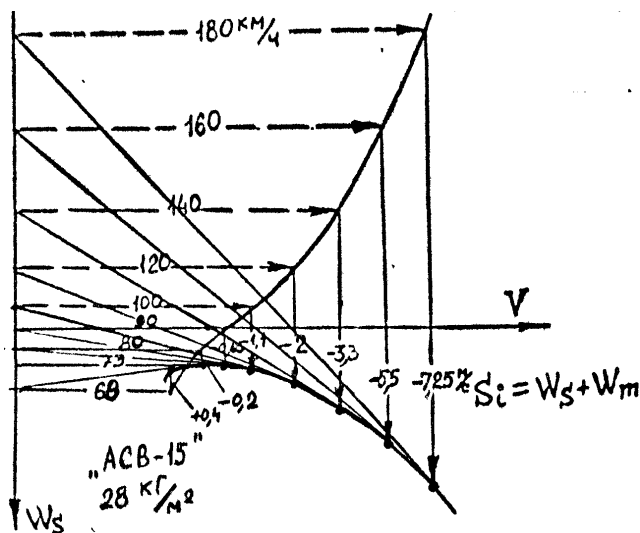
$S_f$ - ожидаемый подъем (1 м/сек)

$S_f$ - снижение планера (-1,9 м/сек) включает в себя снижение воздушной массы (-0,5 м/сек) + собственное снижение планера (-1,4 м/сек)

$V_{soell}$ - скорость перехода (134 км/час)

$V_{REISE}$ - средняя скорость (48 км/час)

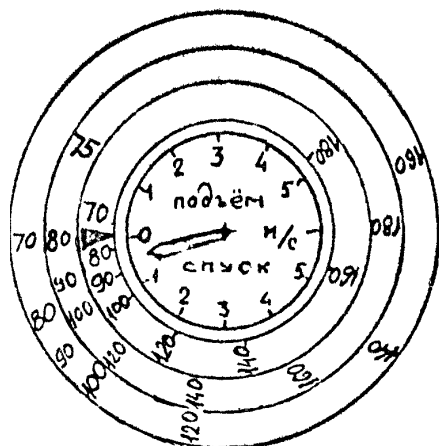
Если воздух между восходящими потоками повсюду находится в движении и опускается, то средняя скорость планера "АСВ-15" снижается до 48 км/ час. Вариометр показывает -1,8 м/сек. Расчётная скорость перехода порядка 134 км/час достигается, когда стрелка вариометра показывает -2,8 м/сек. Кольцо, установленное на ожидаемый подъём, даёт оптимальную скорость при опускающейся воздушной массе.



Мы исходим из предположения, что воздушная масса во время перехода имеет различные восходящие и нисходящие зоны. На рисунке система координат и поляра для спокойного воздуха даны голубым цветом. Касательная из нулевой точки к поляре даёт  $V = 90$  км/час и  $S_f = 0,65$  м/сек. Все прерывистые линии означают скорости планера для турбулентного воздуха. Из нулевой точки проведены касательные к поляре (красной тонкой линией). Каждая точка касания определяет скорость и снижение. Проведением множества касательных к полярам в снижающемся воздухе получают кривую оптимальных скоростей перехода. На графике построена кривая для скоростей до 180 км/час и снижений -7,25 м/сек (метеорологическое снижение воздуха -5 м/сек). Данные для скоростей 160, 140, 120, 100 км/час получают для опускающейся воздушной массы. Скорость 90 км/час соответствует спокойному воздуху. Оптимальная скорость 73 км/час получается для воздуха, поднимающегося со скоростью +0,58 м/сек. ( $W_m = +0,58$  м/сек.) При этом планер летит, не теряя высоты ( $S_f = 0$  м/сек). Оптимальная скорость 68 км/час

получается при подъеме воздушной массы со скоростью  $W_m = 1$  м/сек., планер при этом поднимается со скоростью  $S_t = 0,4$  м/сек. Изменение удельной нагрузки на крыло влияет не только на поляры скорости, но и на положение кольца.

$V$ км/ч	$S_t = W_s + W_m$
180	-7,25
160	-5,3
140	-3,3
120	-2
100	-1,1
90	-0,65
80	-0,2
70	+0,25
км/час	м/сек

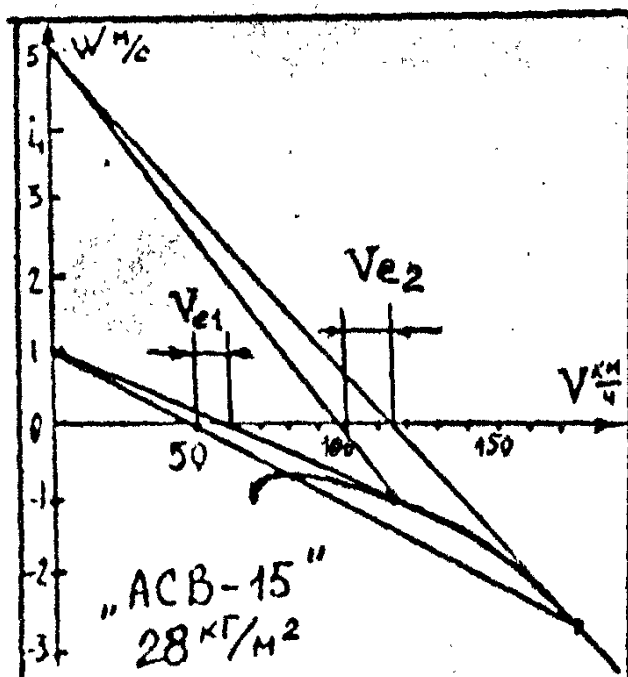


На рисунке красным цветом обозначен вариометр Чёрный треугольник - контрольная отметка калькулятора. Кольцо, установлено для удельной нагрузки на крыло, обозначенное

- чёрным цветом - 28 кгс/м.кв.
- голубым цветом - 26 кгс/м.кв
- красным цветом - 24 кгс/м.кв.

#### ПОТЕРИ В СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ПРИ НЕПРАВИЛЬНОМ ВЫБОРЕ СКОРОСТИ ПЕРЕХОДА

По общей формуле для средней скорости можно графически определить проигрыш при неоптимальном выборе скорости перехода.



На рисунке показаны два примера, изображающие экстремально неверную установку кольца. В первом случае при ожидаемой скороподъемности 1м/с можно было бы лететь со скоростью 120 км/час. Недооценив положение, наш пилот летит со скоростью 174 км/час, что соответствует установке кольца на 5 м/с. Поэтому его потеря в средней скорости  $V_{e1}$  составляет около 10 км/час. Во втором случае при кольце, установленном на 5м/с, скорость 174 км/час выбрана правильно, но пилот летит со скоростью 120км/ч., установив кольцо на 1м/с., и теряет при этом в средней скорости  $V_{e2} = 15$  км/час. Если бы он установил кольцо на 0, то потерял бы около 37 км/час.

Рассмотрев эти случаи, мы видим, что неправильно установленное кольцо является причиной значительных потерь средней скорости.

## ТЕОРИЯ «КЛАССИЧЕСКОГО» ПОЛЕТА.

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ.

$V$  – горизонтальная скорость перехода,

$S_i$  – скорость снижения (отрицательная величина),

$S_t$  – скорость подъёма.

### СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ ПОЛЕТА

$$1). V_{RAISE} = \frac{e}{t}; \quad (1)$$

$$2). \text{Общее время полёта: } t = t_1 + t_2 \quad (2)$$

$t_1$  – время перехода,

$t_2$  – время набора.

3). Потеря высоты:

$$-h = t_1 \cdot S_i \quad (S_i \text{ – скорость снижения}) \quad (3)$$

4). Набор высоты:

$$h = t_2 \cdot S_t \quad (4)$$

$$\textcircled{3} : \textcircled{4} \rightarrow t_2 = t_1 \div \frac{-S_i}{S_t} \quad (5)$$

5). Время перехода

$$t_1 = \frac{e}{V} \quad (6)$$

В уравнение (5) входит:

$$t_2 = \frac{e}{V} \cdot \frac{-S_i}{S_t} \quad (7)$$

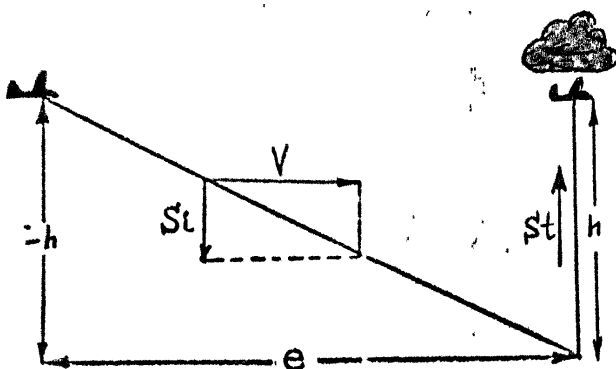
Время в уравнении (2) определяется:

$$t = \frac{e}{V} \left(1 + \frac{-S_i}{S_t}\right) \quad (8)$$

В уравнении (1) определяется:

$$V_{REISE} = \frac{V \cdot S_t}{S_t - S_i} \quad (9)$$

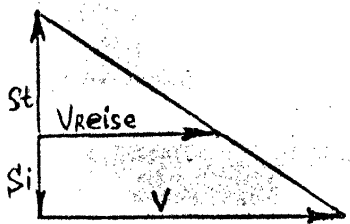
Это уравнение подходит для любой скорости и снижения.



Это уравнение можно также записать как пропорцию:

$$\frac{V_{REISE}}{V} = \frac{S_t}{S_t - S_i} \quad (10)$$

и графически изобразить в виде двух прямых  $V$  и  $V_{REISE}$ :



### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ.

Мы исходим из уравнения полёта по заданному маршруту как при определении средней путевой скорости. Общее время полета для отрезка пути:

$$t = t_1 + t_2 \quad (1)$$

$t_1$  – время перехода,

$t_2$  – время набора,

$$\text{или } t = \frac{e}{V} + \frac{h}{S_t} \quad (2)$$

$e$  - общее расстояние, длина пути

$V$  - скорость по траектории = горизонтальная скорость, скорость перехода

$h$  - высота

$S_t$  - скороподъемность планера.

Потеря высоты определяется:

$$-h = \frac{W_s + W_m}{V} \cdot e \quad (3)$$

$W_s$  – собственное снижение планера,

$W_m$  - метеорологическое движение воздуха.

Следует учесть, что  $W_s$  всегда меньше нуля и  $W_m$  поэтому может быть больше или меньше нуля.

$$W_s + W_m = \text{скорость снижения } S_t \quad (4)$$

Подставив уравнение (3) в уравнение (2) получаем

$$t = e \left( \frac{-(W_s + W_m)}{V \cdot S_t} + \frac{1}{V} \right) \quad (5)$$

Это общее время должно быть минимальным. Для этого уравнение дифференцируем по скорости и приравняем к нулю:

$$\frac{dt}{dV} = e \left( \frac{-\frac{dW_s}{dV} \cdot V \cdot S_t + (W_s + W_m) \cdot S_t}{(V \cdot S_t)^2} - \frac{1}{V^2} \right) = 0 \quad (6)$$

(Причем  $e > 0$ ).

$$\frac{-dW_s}{dV} \cdot V \cdot S_t + (W_s + W_m) \cdot S_t = S_t^2 \quad (7)$$

$$\frac{dW_s}{dV} \cdot V = (W_s + W_m) - S_t \quad (8) \text{ Уравнение II}$$

Правая часть уравнения означает:  $(W_s + W_m) - S_t =$  общее снижение планера при планировании (чаще всего меньше 0), минус ожидаемый подъём.

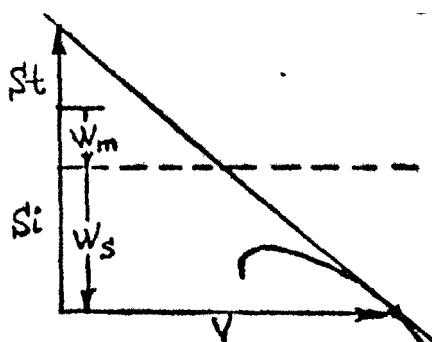
В целом выражение отрицательно.

Левая часть уравнения обозначает:  $\frac{dW_s}{dV} \cdot V$  – общая скорость при плохом подъёме планера в точке скорости  $V$ .



Так как подъём поляры всегда отрицательная величина, выражение в целом так же отрицательно.

Графически это соотношение можно изобразить касательной к поляре, как показано на рисунке.



### УРАВНЕНИЕ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ПОЛЯРЫ СКОРОСТЕЙ.

Поляру скоростей можно выразить уравнением:

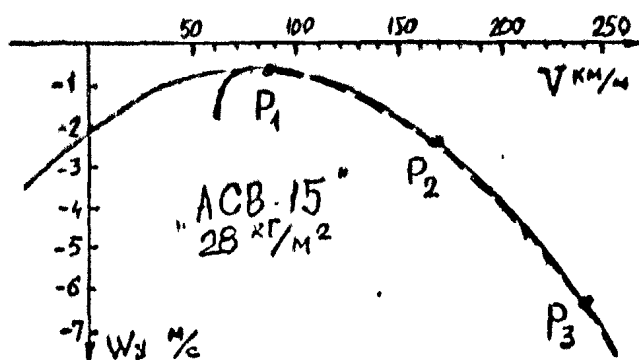
$$W_s = aV^2 + bV + c \quad (\text{Уравнение III})$$

Это уравнение решается с помощью системы трех уравнений (три точки поляры):

$$\begin{cases} W_1 = aV_1^2 + bV_1 + c \\ W_2 = aV_2^2 + bV_2 + c \\ W_3 = aV_3^2 + bV_3 + c \end{cases}$$

Для более точного соответствия уравнения поляры самой поляре, Кауэр рекомендует выбирать эти точки в пределах допустимой скорости планера ( $P_1(W_1/V_1), P_2(W_2/V_2), P_3(W_3/V_3)$ ).

$P_1$  – около минимальной скорости планера,  $P_3$  – около максимальной и  $P_2$  – промежуточная.



### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ПОЛЯРЫ ДЛЯ ИЗМЕНЁННОЙ УДЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА КРЫЛО.

Поляра скорости относительно точно выражается квадратным уравнением:

$$W_s = aV^2 + bV + c \quad (1), \text{ где}$$

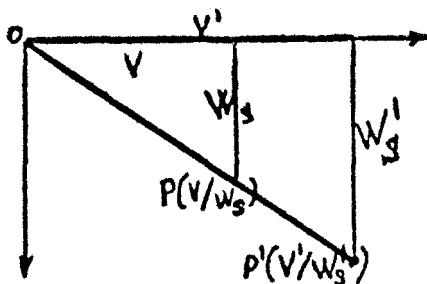
$$a = \frac{(V_2 - V_3)(W_1 - W_3) + (V_3 - V_2)(W_2 - W_3)}{V_1^2(V_2 - V_3) + V_2^2(V_3 - V_2) + V_3^2(V_1 - V_2)} \quad (2);$$

$$b = \frac{W_2 - W_3 - a(V_2^2 - V_3^2)}{V_2 - V_3} \quad (3);$$

$$c = W_3 - aV_3^2 - bV_3 \quad (4).$$

Поляра скоростей, вычисленная по этому уравнению, показывает хорошее сходство с параболой. Так как на планере стандартного класса редко летаю на скоростях более 180 км/час, было бы лучше использовать эту величину скорости в качестве точки  $P_3$ . В этом диапазоне скорости допустимо приближенное значение. При изменении удельной нагрузки на крыло положение каждой точки  $P$  по отношению к началу координат (точке  $O$ ) определяется

соотношением:  $\frac{\sqrt{\text{новая удельная нагрузка на крыло}}}{\sqrt{\text{старая удельная нагрузка на крыло}}}$ .



На рисунке показано изменение положения точки P поляры при изменении удельной нагрузки на крыло.

$\frac{G}{F}$  - первоначальная удельная нагрузка на крыло,

$\frac{G'}{F}$  - новая удельная нагрузка на крыло.

$$\sqrt{\frac{G'}{F}} : \sqrt{\frac{G}{F}} = \sqrt{\frac{G'}{G}} = A \text{ (коэффициент соотношения скоростей).}$$

Из рисунка видно, что

$$\frac{\overline{OP'}}{\overline{OP}} = A = \frac{V'}{V}; \quad \Rightarrow V = \frac{V'}{A};$$

$$\frac{W'_s}{W_s} = \frac{\overline{OP'}}{\overline{OP}} = A; \quad \Rightarrow W_s = \frac{W'_s}{A};$$

Эти данные подставляются в уравнение (III).

$$\frac{W'_s}{A} = a \cdot \left(\frac{V'}{A}\right)^2 + b \left(\frac{V'}{A}\right) + c; \quad \Rightarrow W'_s = \frac{a}{A} \cdot V'^2 + bV' + Ac;$$

где можно обозначить

$$a' = \frac{a}{A}; \quad b' = b; \quad c' = Ac.$$

### РАСЧЕТ КРУГОВОГО КАЛЬКУЛЯТОРА МАК-КРЕДИ МАТЕМАТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ.

Кауэр показывает, как можно рассчитать круговой калькулятор Мак-Креди по уравнению поляры

$W_s = aV^2 + bV + c$ . Подставив в уравнение (II) производную:

$$\frac{dW_s}{dV} = 2aV + b, \quad \text{получим: } (2aV + b) \cdot V = (W_s + W_m) - S_i.$$

Выражение в правой части уравнения является сектором на вариометре для обозначения скорости. В случае, когда ожидается «нулевой» подъём (калькулятор установлен на ноль), обозначение скорости перехода определяется формулой:

$$\text{величина отклонения стрелки вариометра} = 2aV^2 + bV \text{ (Уравнение IV).}$$

Расчет оптимальной скорости перехода производится на основе уравнения поляры, ожидаемого подъёма  $S_t$  и метеорологического вертикального движения воздуха  $W_m$  во время перехода.

$W_s$  определяется из уравнения поляры (III) с использованием уравнения (II).

$$V_{soll} = \sqrt{\frac{c + W_m - S_t}{a}} \quad (\text{Уравнение V}).$$

Так как  $S_t$  всегда положительная величина, а  $c$  и  $a$  – величины отрицательные, то снижение дополнительно увеличивается при отрицательной  $W_m$ . При положительной  $W_m$  сокращается время переходов, при

$$W_m = S_t \cdot V_{soll} = \sqrt{\frac{c}{a}}, \quad \text{что соответствует скорости перехода равной средней путевой, когда } W_m = S_t - W_{S_{\min}} \quad (\text{причем}$$

$W_s$  – отрицательная величина).

$$V_{soll} = -\frac{b}{2a}, \quad \text{то есть переход при минимальном снижении}$$

### ОПТИМАЛЬНАЯ СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ ПЕРЕХОДА.

При переходе в спокойном воздухе согласно уравнению (V):

$$V = \sqrt{\frac{c - S_t}{a}};$$

Подставим это выражение в уравнение поляры (III), получим:

$$W_s = 2c - S_t + b \sqrt{\frac{c - S_t}{a}};$$

Отсюда можно рассчитать оптимальную среднюю скорость перехода по уравнению (I):

$$V_{ROPT.} = \frac{S_t - \sqrt{\frac{c - S_t}{a}}}{2S_t - 2cb \sqrt{\frac{c - S_t}{a}}} \quad (\text{Уравнение VI}).$$

### ПОЛЁТ СТИЛЕМ «ДЕЛЬФИН»

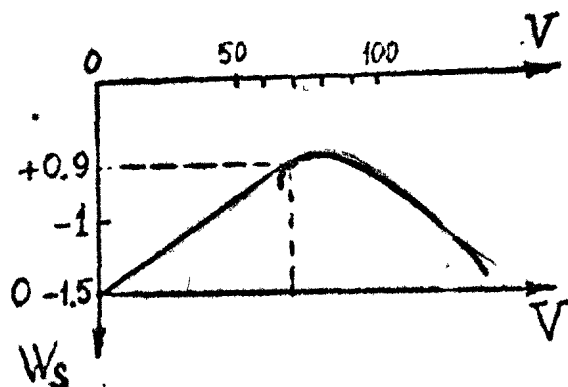
ПОЛЁТ «ДЕЛЬФИНОМ» – это прямолинейный участок маршрута, когда полет совершается по волнообразной траектории в соответствии с приведенной теорией

### ПОЛЁТ «ДЕЛЬФИНОМ» ПРИ МИНИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ.

### (НЕОПТИМАЛЬНЫЙ, ВЫНУЖДЕННЫЙ ПОЛЁТ «ДЕЛЬФИНОМ»).

Если метеоусловия достаточны лишь для того, чтобы совершать прямолинейный полет без потери высоты, то полёт «дельфином» при таких условиях не дает выигрыша в средней скорости по сравнению с классическим стилем. Рассмотрим, однако, теоретические возможности такого полета, так как это облегчает ознакомление с теорией полета "дельфином". Минимальный расход высоты в парящем полете обеспечивается установкой кольца калькулятора на ноль, что, соответствует максимальной относительной дальности в безветренную погоду, т.е. минимальному углу наклона траектории.

Максимальный набор высоты во время прямолинейного полета обеспечивается при полете по возможно более крутой траектории, которая может быть получена из поляры. Для этого поляру сдвигаем вверх на величину подъёма воздушной массы (в нашем примере скороподъёмность потока 1,5 м/сек), или, что то же самое, сдвинуть ось вниз на такую же величину. Наиболее крутой подъём обеспечивает траектория, у которой угол наклона максимальный, т.е. касательная к поляре проведена из точки, соответствующей  $W_{y_{\text{пот}}}$ . Скорость, обеспечивающая полет по данной траектории, меньше экономической скорости, соответствует минимальному снижению.



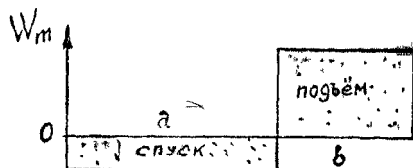
На рисунке приведена поляра планера "АСВ-15". Подъем по наиболее крутой траектории возможен при скорости 67 км/час, (меньшей по сравнению с  $V_{ЭК}=73$  км/час и  $V_{НВ}=90$  км/час). Подъем планера при этом 0,9 м/сек. Для полёта «дельфином» кольцо Мак-Креди должно быть расширено, чтобы выше отметки ноль следовали бы величины оптимальной скорости планера в наборе высоты до минимальной скорости полета для данного планера. На практике пилотирование планера на скорости, менее экономической затруднено, так как мал запас по скорости сваливания и мала эффективность управления по крену, поэтому для приведенной поляры планера «АСВ-15» нельзя рекомендовать скорости полета менее 70 км/час.

#### МОДЕЛИ ПОЛЁТА «ДЕЛЬФИНОМ».

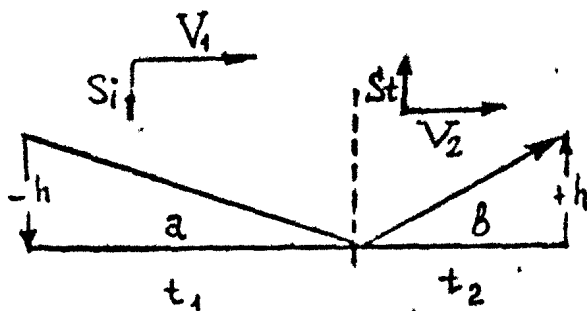
Моделирование полёта «дельфином» представляет большие трудности вследствие различных режимов полёта в восходящей и нисходящей зоне и неопределенности в расположении этих зон. Поэтому можно исходить из упрощенных типичных метеорологических моделей распределения восходящих потоков, а выводы, сделанные из этих предложений, следует проверить на общую применимость, т.к. они, строго говоря, доказаны только для каждой конкретной модели.

#### ПЕРВАЯ МОДЕЛЬ (АНТВАЙЛЕР, ИОНАС).

Наиболее простой моделью является прямоугольное распределение вертикальной скорости потока.



Если в воздушной массе с таким распределением вертикальных скоростей потока при полёте без спирали, выполняется условие, что в конце набора высота равняется исходной, то получим следующую траекторию.



П.Антвайлер, исходя из прямоугольного распределения скорости восходящего потока, рассчитал среднюю путевую скорость полёта «дельфином» и дал её графическое определение по радиальной диаграмме. К.Ионас для этой же модели дал сравнение средней скорости полёта классическим стилем (набор-переход) и полёта дельфином для различных скоростей набора, распределения восходящих и нисходящих зон и характеристик планера.

Среднюю скорость полёта «дельфином» можно определить исходя из протяжённости зон подъёма и спуска, и времени полёта в каждой зоне.

$$t = t_1 + t_2 = \frac{-h}{S_i} + \frac{h}{S_t}; \quad V_{RD} = \frac{a+b}{t} = \frac{a+b}{h} \cdot \frac{-S_i + S_t}{S_t - S_i};$$

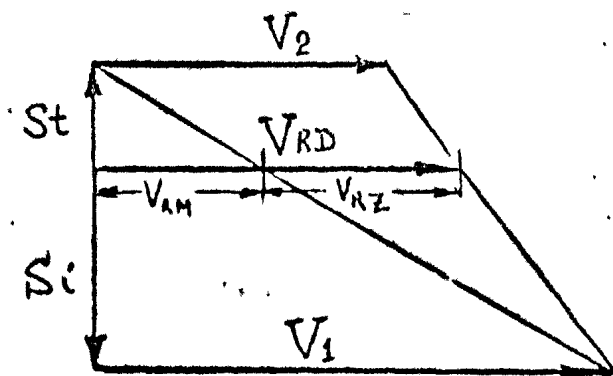
при  $\frac{a}{-h} = \frac{V_1}{S_i}$  и  $\frac{b}{h} = \frac{V_2}{S_i}$  получим:  $V_{RD} = \frac{S_i}{S_i - S_i} \cdot V_1 + \frac{-S_i}{S_i - S_i} \cdot V_2;$

Отметим, что

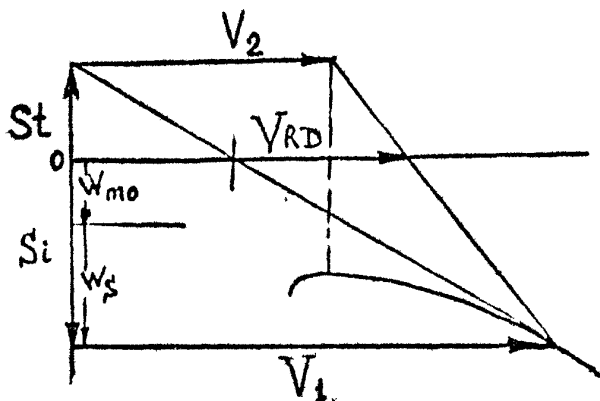
$$V_{RM} = \frac{S_i}{S_i - S_i} \cdot V_1 \text{ (средняя скорость при классическом полёте в соответствии с "Г"),}$$

$$V_{RZ} = \frac{-S_i}{S_i - S_i} \cdot V_2 \text{ (приращение средней путевой скорости при полёте «дельфином»)}.$$

Исходя из этого, среднюю скорость при полёте дельфином можно представить как сумму  $V_{RM}$  и  $V_{RZ}$  на радиальной диаграмме.



Если выполняется условие, что высота в конце набора равна исходной, т.е. высота потерянная в зоне спуска, восстанавливается в зоне подъема, то графическое изображение скоростей при полёте «дельфином» можно получить с помощью поляры.



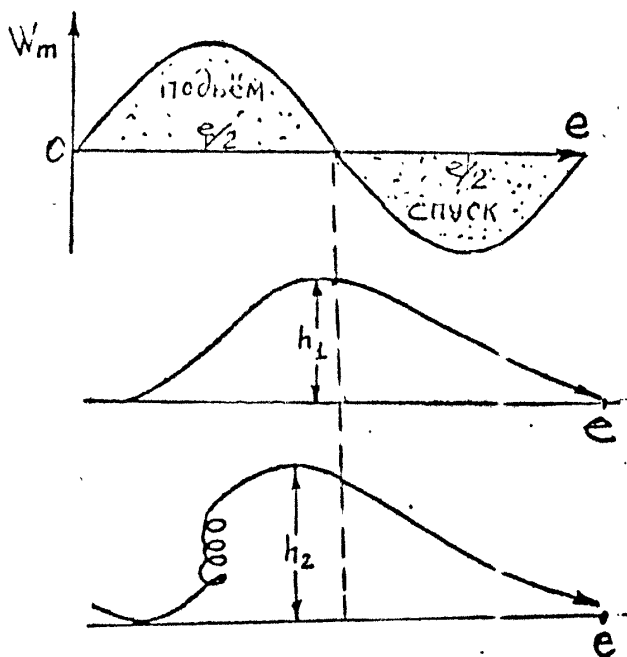
В сравнении с предыдущим графиком становится очевидно, что средняя путевая скорость при полёте «дельфином» ( $V_{RD}$ ) будет больше, чем классическая средняя путевая скорость ( $V_{RM}$  – по Мак-Креди) на величину  $V_{RZ}$ . Приращение средней путевой скорости при полёте «дельфином» проявляется лишь тогда, когда при установке кружка на величину  $V_{y \text{ наб}}$ , зона подъёма имеет такую протяжённость, что позволяет восстановить высоту, потерянную в зоне спуска. Это построение для средней путевой скорости при полёте «дельфином» показывает, что средняя путевая скорость при классической теории является частным случаем более обширной теории оптимально заданной траектории, когда приращение скорости  $V_{RZ}$  равно 0 (спирали в восходящем потоке).

Если зона подъёма мала по отношению к общей длине пути для полёта «дельфином» без потери высоты при установке кольца на  $V_{y \text{ наб}}$ , то имеется возможность продолжать полёт «дельфином» при установке кольца на меньшую величину подъёма. Однако Ионас доказал математически, что максимальная средняя путевая скорость достигается при установке кольца на величину  $V_{y \text{ наб}}$ , т.е. по оптимальной траектории. Если кольцо установлено на  $V_{y \text{ наб}}$ , то получаем полет "дельфином" с дефицитом высоты. Недостающую высоту набирают каждый раз спиралью. Разница между  $V_{y \text{ наб}}$  при полёте по прямой и  $V_{y \text{ наб}}$  при полете спиралью при одинаковой скорости подъема воздушной массы не учитывается, также как и время центрирования, и другие трудноучитываемые величины.

## ВТОРАЯ МОДЕЛЬ (КАУЭР, ЮНГИНГЕР).

### СИНОСИДАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПОТОКА В ВОСХАДЯЩЕЙ И НИСХОДЯЩЕЙ ЗОНЕ.

Е.Кауэр и К.Юнгингер путем обширного расчета на ЭВМ исследовали, какой стиль полета при данных метеоусловиях позволяет достичь наибольшей величины средней путевой скорости. Было показано, что кольцо Мак-Креди. сохраняет свое значение для оптимизации траектории. При синусоидальном распределении вертикальной скорости восходящего потока, если скороподъемность планера позволяет выполнять полет "дельфином" без потери высоты (неоптимальный "дельфин" вследствие низкой установки кольца), несомненное преимущество имеет классический метод полета. При установке кольца на величину максимального набора возникает дефицит высоты, который устраняется набором высоты спиралью в зоне максимального подъема.



Например, при максимальной скороподъемности потока 4 м/сек и синусоидальном распределении, на планере "Циррус-стандарт" можно достичь средней путевой скорости 110км/час, если кольцо установить на максимальную скороподъемность планера 3,4 м/сек. При этом расход высоты несколько больше, чем набор при прохождении восходящей зоны, и высота восстанавливается каждый раз спиралью в зоне максимального набора. При этих же погодных условиях полет "дельфином" на постоянной высоте без спиралей возможен, если кольцо установлено на скороподъемность 0,5 м/сек. Средняя путевая скорость при этом составляет только лишь 100 км/час. Это преимущество классического полета уменьшается с увеличением скороподъемности потоков и при скороподъемности потоков 6 м/сек составляет 1%.

Таким образом, можно считать доказанным превосходство «классического» стиля полёта при синусоидальном распределении скороподъемности потоков, что подтверждается и на следующих моделях. Граница, где при классической установке кольца изменение скорости позволяет выполнять полёт «дельфином» почти без потери высоты, лежит очень высоко только при синусоидальном распределении скороподъемности. Значения их, вычисленные Кауэром для планера «Циррус-стандарт», приведены в таблице.

«Дельфин» в «sin»-потоках				Классический полёт в «sin»-потоках			
$W_m$ max, м/с	$V_{ср.}$ км/ч	Установк а кольца м/с	Время переходов , %	$V_{ср.}$ км/ч	Установк а кольца м/с	Время переходов, %	Время набора, %
1	«Дельфин» не возможен			37	0,4	40	60
2				74	1,4	68	32
3				95	2,4	78	22
4	100	0,5	100	110	3,4	83	17
5	119	2,5	100	122	4,4	87	13



6	130	4,1	100	131	5,4	91	9
7	138	5,5	100	139	6,4	93	7
8	145	6,8	100	145	7,4	96	4
9	151	7,9	100	151	3,4	97	3
10	156	9	100	156	9,4	99	1
11	160	10,1	100	160	10,4	100	~0

При максимальной скороподъемности потока 6 м/сек примерно 91% времени составляет полет по прямой и 9% - спирали в зоне максимального подъема.

Синусоидальное распределение восходящего и нисходящего потоков удовлетворяет условию неразрывности, т.е. масса поднимающегося воздуха равна массе опускающегося. Другими словами, пилоту в данном случае не удастся выбором курса добиться более благоприятного баланса восходящего потока.

Достижение Гансом Вернером Гроссе на "АСВ-17" средней путевой скорости 90 км/час при скороподъемности 1 м/сек противоречит результатам расчетов Кауэра, даже если учесть лучшие летные характеристики планера. По-видимому, в летной практике - особенно при метеоусловиях с видимыми потоками (развитие облаков) - целевые отклонения от курса позволяют иметь лучший баланс восходящих потоков, чем следовало бы из условия неразрывности. Поэтому уже при значительно меньшей скороподъемности можно летать "дельфином" без потери высоты. Условие модели, что зона восходящего потока равна зоне нисходящего потока, соблюдается именно вследствие неразрывности. Потери скороподъемности на центрирование и увеличение спуска за счет крена спирали, которые не учтены в расчетах, на практике, по мнению самого Кауэра, расширяют возможности полета "дельфином". Хотя "классический" полет при синусоидальном распределении потоков имеет преимущество, но т.к. практически можно иметь в полете лучший баланс восходящих потоков, чем следует из условия неразрывности, - размытая граница между классическим стилем и дельфином расширяется, и из "классического" полета все более и более получается "дельфин". Переход к полету чисто дельфином (без спиралей) объясняется тем, что преимущество "классического" изменения скорости при благоприятном распределении восходящего потока не дают дефицита высоты на переходах.

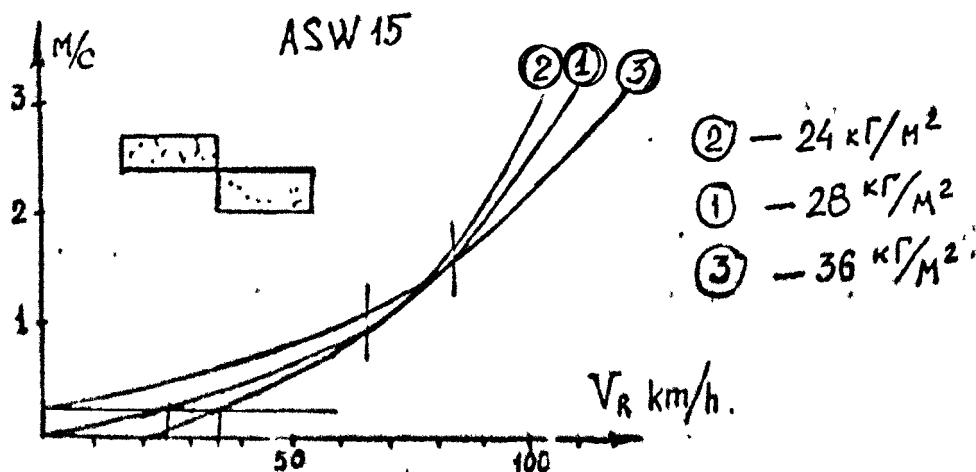
Так как скороподъемности спирали при "классическом" полете, которая согласно результата Кауэра устанавливается на кольце, всегда меньше скороподъемности планера, летящего по прямой в зоне подъема, то получаются частные траектории полета "дельфином" на скорости меньше, чем экономическая для данного типа планера, и кольцо для задания этих траекторий должно быть расширено выше нулевой линии.

### ТРЕТЬЯ МОДЕЛЬ (ВАЙБЕЛЬ).

Модель Г. Вайбеля подобна модели Антвайлера (прямоугольное распределение восходящих и нисходящих потоков), но при этом ставится дополнительное условие неразрывности, т.е. масса поднимающегося воздуха равна массе опускающегося. В своих расчетах он исходит из трех значений соотношений-зон восходящих и нисходящих потоков:  $a:b$

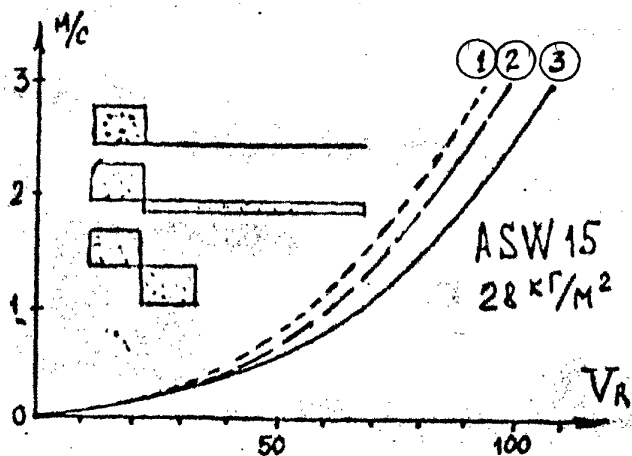
случай 1    1:∞  
случай 2    1:3  
случай 3    1:1

Исходя из условия неразрывности, имеем в первом случае нисходящий поток, равный нулю, во втором случае - 1/3 от восходящего, и в третьем случае - равный восходящему. Вайбель определяет оптимальные средние путевые скорости для различных восходящих потоков и связанных с ними нисходящих потоков. Модель включает в себя "классический" полет (спирали с креном 40 градусов) и полет чисто "дельфином".



На графике представлены результаты расчета оптимальных средних скоростей для случая 3 (зона восходящих потоков равна зоне нисходящих потоков). Рассмотрим сначала кривую 1 для удельной нагрузки 28 кг/м кв. Как только планер имеет подъем, можно выполнять переходы. Поэтому кривая проходит через начало координат. Более лёгкий планер 2 для этой скороподъемности потока имеет уже среднюю скорость 20 км/час, в то время как планер 1 еще только сохраняет свою высоту. Более тяжелый планер 3 может только начать выполнять переходы, когда планер 1 уже имеет среднюю скорость 27 км/час, а планер 2 - 37 км/час, и, если условия набора будут ухудшаться, то он будет непрерывно отставать. Это показывает преимущество планеров с малыми нагрузками на крыло в слабых термиках. В районе скоростей 67-84 км/час кривые пересекаются, и самый тяжелый планер теперь имеет большую путевую скорость. При скороподъемности более 2 м/сек, преимущество тяжелого планера еще более возрастает. Чем больше средняя путевая скорость, т.е. чем больше скороподъемность и спуск, тем большее расстояние можно проходить "дельфином", когда спирали (согласно предположению - с креном 40°) составляют всё меньшую часть полёта.

Соответствующие графики для случаев 1 и 2 здесь показаны, но они подобны приведенному для случая 3, хотя в случае 1 спирали составляют большую часть полета, а в случае 2 их составляющая часть во времени еще более возрастает. Кривые пересекаются во всех случаях между скороподъемностью 1,5 и 2 м/сек.



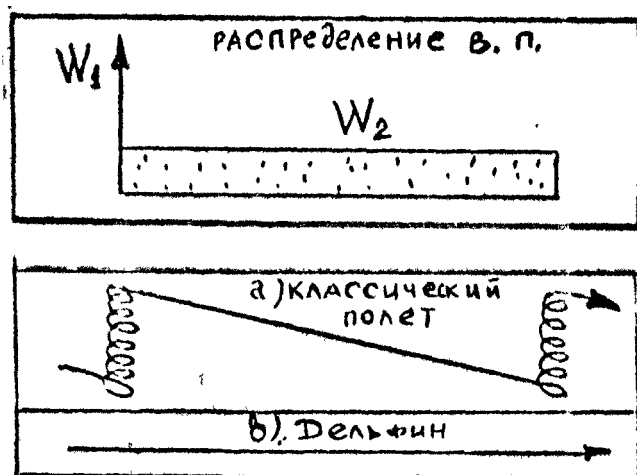
Этот график показывает зависимость оптимальных средних скоростей от скороподъемности для нагрузки на крыло 28 кг/м.кв. Трём различным распределениям скоростей восходящих и нисходящих потоков для случаев 1,2,3 соответствуют кривые 1,2,3. Таким образом, кривая 3 соответствует кривой 1 на предыдущем графике. Очевидно, что соотношение зон восходящих и нисходящих потоков для случая 3 обеспечивает максимальные средние скорости. Частое чередование восходящих и нисходящих потоков (зона спуска не более зоны подъема) дает возможность эффективного полета "дельфином" с большой амплитудой изменения скорости полёта, поэтому меньше времени тратится на подъем спиралью, чем в случае 2 и тем более в случае 1. Вайбель показал, что эта тенденция сохраняется и для других величин нагрузки на крыло.

Из результатов расчетов Вайбеля по его модельным гипотезам следует, что при скороподъемности более 2 м/сек, планер должен иметь, возможно, большую нагрузку на крыло, а при скороподъемности менее 1,5 м/сек - возможно, меньшую. Однако это предположение следует рассматривать в однозначной связи с моделью термиков Вайбеля (условием неразрывности).

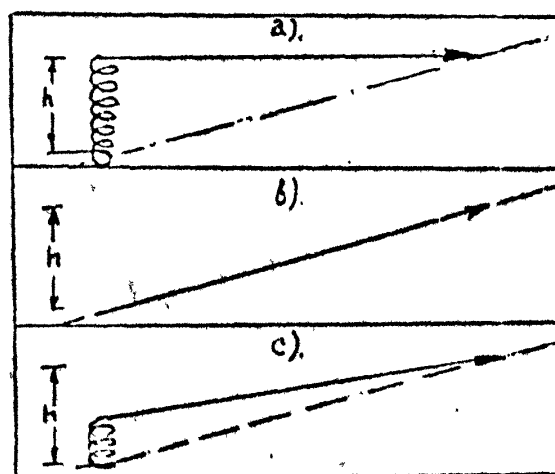
#### ЧЕТВЕРТАЯ МОДЕЛЬ (РАЙХМАНН).

В этой модели не соблюдается условие неразрывности. Исходя из ситуации, типичной для полета в зонах восходящих потоков, предполагаем, что по всей траектории имеется подъем, но величина его изменяется. В модели небольшие зоны сильных потоков, в которых возможен хороший набор спиралью, чередуются с широкими зонами слабого подъема. Для упрощения оптимизации траектории полета предположим, что зона сильного потока, по сравнению с более слабым настолько узко ограничена, что можно пренебречь его влиянием при полете чисто "дельфином". Основное условие представленных ранее моделей, заключается в том, что на каждом отрезке полета, при прохождении восходящей и нисходящей зон, высота равняется исходной (траектория без изменения высоты полета). Далее рассуждения будут распространены на поднимающиеся и спускающиеся траектории.

4-я модель:



Случай 1



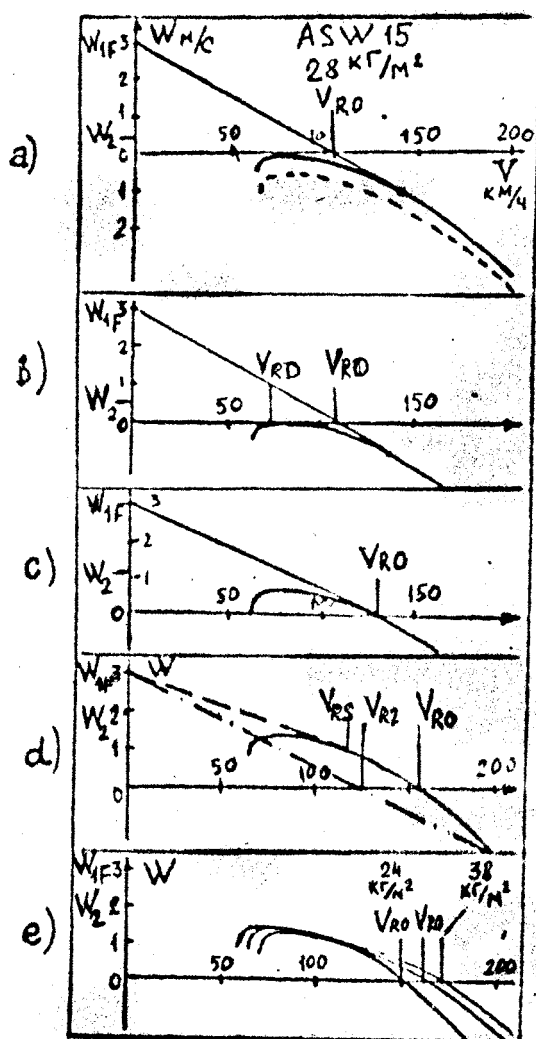
Случай 2

Выводы без затруднений можно перенести и на модельные гипотезы, в которых между зонами подъемов встречаются нисходящие потоки или атмосфера неподвижна.

#### СЛУЧАЙ 1. ВЫСОТА В ЦЕЛОМ ПОСТОЯННА (СООТВЕТСТВУЕТ СЛУЧАЮ НА СТР19).

Докажем, что и в этой модельной гипотезе полет по кольцу, установленному на максимальный набор в спирали, даёт максимальную среднюю скорость.

Возможность полета чисто «дельфином», оптимальным «дельфином», а также возможность более высокой установки кольца зависит от исходных величин скороподъемностей  $W_1$  и  $W_2$ . Изобразим графически достигаемые каждый раз средние путевые скорости. Для примера примем скороподъемность потока в зоне набора  $W_1 = 3,6$  м/сек., что позволяет на планере «АСВ-15» иметь в спирали набор 3 м/сек. Величина скороподъемности в зоне слабого потока  $W_2$  возрастает от  $a$  до  $\alpha$ .



Эти четыре случая охватывают все типичные варианты.

**а.** Скороподъемность в зоне слабого потока меньше, чем минимальный спуск по поляре.

Пришлем вертикальную скорость потока 0,4 м/сек. Исходная поляра (в неподвижном воздухе) изображена черной прерывистой линией. Она в данном случае может быть приподнята вверх на 0,4 м/сек и показана красной полярой (с учетом  $W_2$ ). Оптимальная средняя скорость по "Мак-Креди" получается как осевой отрезок, отсекаемый по оси скоростей касательной из точки, соответствующей  $W_{1F}$  к новой поляре (с учетом  $W_2$ ). Полет чисто "дельфином" невозможен.

**в.**  $W_2$  такой величины, как и минимальное снижение по поляре (0,58 м/сек). Оптимальная траектория по "Мак-Креди" получается так же, как и в случае «а». Чистый полет по прямой без потери высоты "дельфином" возможен на скорости  $V_{RD}$ , которая для "АСВ-15" равна 73 км/час. Средняя скорость по "Мак-Креди"  $V_{RO}$  значительно больше и составляет 108 км/час.

**с.**  $W_2$  такой величины, что допускает полет без снижения на  $V_{RO}$  при установке кольца на  $W_{1F}$ . При скороподъемности потока равной 1,2 м/сек ( $W_2$ ) компенсируется собственное снижение планера при установке кольца на  $W_{1F} = 3$  м/сек. Несмотря на высокую установку кольца, в слабом потоке не возникает больше потери высоты нет необходимости набирать высоту в спирали. В данном случае полет "дельфином" получается автоматически как частный случай "классического" полета.

**д.** Скороподъемность воздушной массы  $W_2$  больше, чем собственное снижение планера при установке кольца на  $W_2$ . Если в этом случае лететь по кольцу или по оптимизатору траектории, то будем иметь траекторию с набором на скорости  $V_{RS}$  ( $V_{RS}$  - путевая скорость по заданной траектории определяется как касательная к поляре с учетом подъема). Если лететь на очень большой скорости, как показано в примере 200 км/час, то будем иметь среднюю скорость  $V_{R2}$ , т.к. потерянная высота может быть восстановлена спиралью со скороподъемностью планера 3 м/сек. Т.к. поляра планера обычно изогнута положительно, оптимальная путевая скорость  $V_{RO}$  определяется точкой пересечения поляры с осью скоростей, т.е. скорость должна быть увеличена на столько, чтобы вариометр оставался на нуле, при этом указатель кольца перемещаются из положения 3 м/сек значительно выше (в данном случае 5 м/сек).

### е. Влияние нагрузки на крыло при полете "дельфином".

Чем больше нагрузка на крыло, тем выше и крейсерская скорость

полета "дельфином". Только в крайнем граничном случае, когда  $W_2$  компенсирует минимальное снижение легкого планера (как в пункте "в"), и, одновременно  $W_1$  настолько слаб, что планер с повышенной нагрузкой на крыло имеет набор несколько см/сек, вынужденно летящий "классическим" стилем более тяжелый планер будет иметь значительно меньшую путевую скорость. Таким образом, большой вес в зонах восходящих потоков, с учетом принятых предположений, в основном благоприятен для увеличения средней скорости.

### СЛУЧАЙ 2. ПОЛЁТ С НАБОРОМ ВЫСОТЫ (СООТВЕТСТВУЕТ СЛУЧАЮ 2 НА СТР.19)

Предположим, что мы имеем хорошего вида облачную грядку, находясь на несколько сот метров ниже кромки и хотим оставить грядку на максимальной высоте.

Вопрос состоит в том, стоит ли набирать высоту спиралью в зоне максимального подъема и на каком режиме лететь по прямой, чтобы достичь цели за минимальное время. Считаем заданный путь, необходимую высоту набора и метеословия. Путь и набор определяются траекторией подъема. Подъем по ' этой траектории — отношение набора высоты к длине пути, или средней интегральной скороподъёмности к средней скорости - определяет тангенс угла траектории набора  $\alpha$ . Необходимо найти оптимальный режим полета по траектории подъёма и как его достигнуть.

### ОБЩИЙ РАСЧЁТ СКОРОСТИ ПО ТРАЕКТОРИИ ПОДЪЁМА.

Под скоростью по траектории подъёма подразумевается средняя путевая скорость, направленная под углом набора, при этом исходим из набора спиралью в зоне сильного потока и последующего медленного набора в прямолинейном полёте.

$ST$  - скороподъёмность при наборе в спирали.

$h_1$  - высота, набираемая в спирали.

$t_1$  - время набора спиралью.

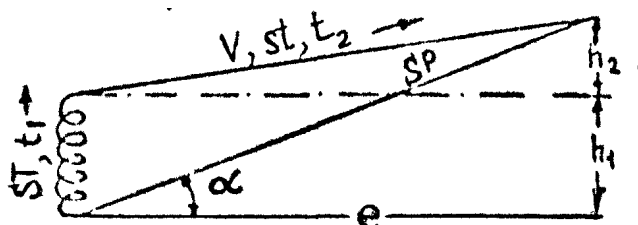
$S_t$  - скороподъёмность при полёте по прямой.

$h_2$  - высота, набираемая при полёте по прямой.

$t_2$  - время полёта по прямой.

$e$  - расстояние, проходимое планером по прямой.

$\alpha$  - угол наклона траектории.



Время набора высоты в спирали:

$$1. t_1 = \frac{h_1}{ST}$$

Время прямолинейного полёта:

$$2. t_2 = \frac{e}{V} \text{ или } 3. t_2 = \frac{h_2}{S_t}$$

Угол наклона результирующей траектории:

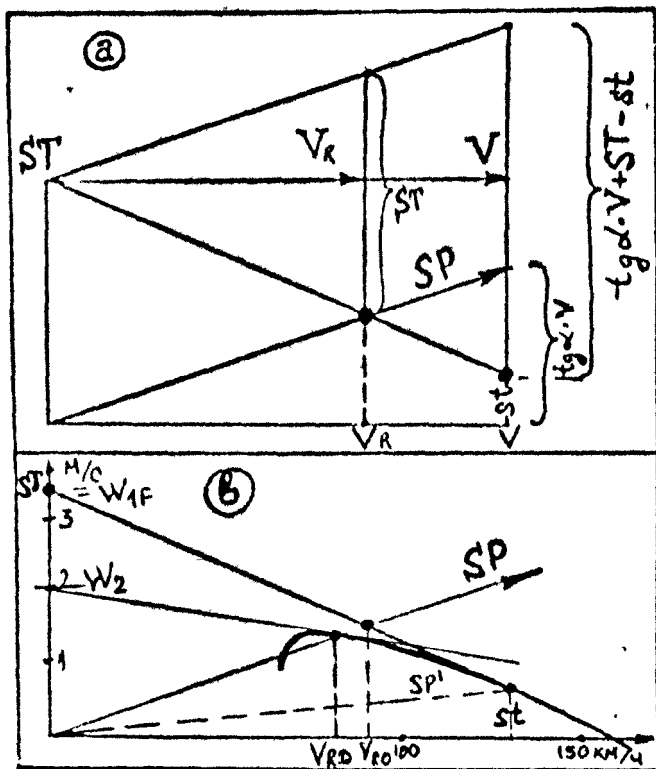
$$4. \frac{h_1 + h_2}{e} = \operatorname{tg} \alpha$$

Средняя скорость:

$$5. V_R = \frac{e}{t_1 + t_2}$$

Скорость по траектории можно определить из условия:  $\frac{e}{V} = \frac{h_2}{S_t}$

На рисунке изображена полярная диаграмма полёта с набором высоты.



$$h_2 = \frac{e \cdot S_t}{V}; \quad h_1 = \operatorname{tg} \alpha \cdot e - h_2; \quad \Rightarrow$$

$$h_1 = \operatorname{tg} \alpha \cdot e - \frac{e \cdot S_t}{V} = e \left( \operatorname{tg} \alpha - \frac{S_t}{V} \right);$$

$$\text{Время набора: } t_1 = e \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha - \frac{S_t}{V}}{ST} = e \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot V - S_t}{V \cdot ST};$$

Из этого уравнения и уравнения II (стр.78) получаем среднюю скорость на траектории набора:

$$V_R = \frac{e}{e \left( \frac{1}{V} + \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot V - S_t}{V \cdot ST} \right)} = \frac{V \cdot ST}{ST - S_t + \operatorname{tg} \alpha \cdot V} \quad (\text{Уравнение VII}).$$

Это уравнение можно преобразовать в соотношение: 
$$\frac{V_R}{V} = \frac{ST}{ST - S_t + \operatorname{tg} \alpha \cdot V};$$

В случае  $W_2 = 0$ ,  $S_t$  становится отрицательной, равной снижению планера. Если принять так же  $\alpha = 0$ , то из уравнения VII, получим уравнение I (стр. 78), как частный случай. Уравнение VII можно представить в виде полярной диаграммы, которая изображена на красном графике «а». Все преобразования показывают связь этой полярной диаграммы с полярной скоростью планера. Синяя линия **SP** показывает траекторию подъема. На рисунке «б» показан пример, как получить графически из полярной оптимальную скорость, которая определяется точкой касания прямой, проведенной из  $W_{1F}$  к полярной с учетом  $W_2$ . Точка пересечения этого луча с траекторией подъема показывает оптимальную скорость по траектории подъема ( $V_{RO}$ ). Если  $V_{RO}$  и  $V$  совпадают, например, при меньшем угле наклона траектории, или меньшем подъеме, то полет с  $V = V_{RO}$  происходит по траектории подъема и нет необходимости в наборе высоты спиралью. В представленном оптимальном случае набор происходит по траектории на большей скорости, но с меньшим углом набора, а недостающая высота набирается спиралью в зоне максимального подъема. Если при полете по прямой со скоростью  $V$  точка полярной лежит выше оси нулевого подъема, то полет выполняется с потерей высоты. В нашем примере возможен и полет по прямой с набором вдоль траектории **SP**<sub>1</sub>, если лететь со скоростью полета "дельфином"  $V_{RD}$ , однако "классический" полет с установкой



кольца на  $W_{1F} = ST$  даёт значительно более высокий результат ( $V_{RO}$ ).

### СЛУЧАЙ 3. ПОЛЁТ С ПОТЕРЕЙ ВЫСОТЫ (СООТВЕТСТВУЕТ СЛУЧАЮ 3 НА СТР. НА СТР.19).

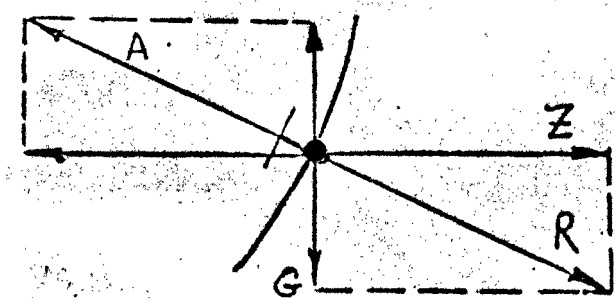
Если на "траектории подъема" имеем отрицательный подъем, то траектория снижения пересекает поляр (за исключением граничного случая полена по очень пологой траектории в слабом потоке). Вектор скорости заданной траектории полета "дельфином" соответствует скорости, определяемой этой точкой пересечения. Этот случай характерен для долёта под грядой восходящих потоков. Расчеты и графическое определение действительны, если  $W_2 = 0$  или отрицательный. Эти результаты применимы и для других случаев. При этом теория "Мак-Креди" и теория полета "дельфином" (4 модель, случай I) являются частным случаем расширенной теории, если полагать подъем, равным нулю. Представленная оптимизация может быть доказана также и аналитически.

### РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА МОДЕЛЕЙ ПОЛЁТА «ДЕЛЬФИНОМ»

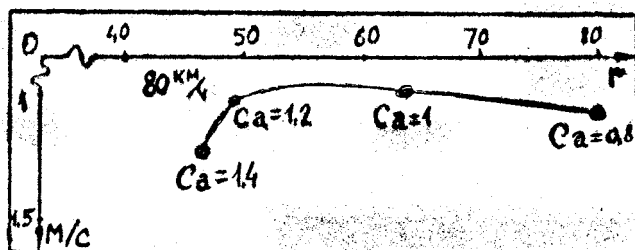
Для полета «дельфином» дана расширенная теория заданной скорости по траектории, в которую "классическая" теория входит как частный случай. Применение кольца Мак-Креди распространяется и на полет "дельфином". Кольцо должно быть установлено в основном на скороподъемность в спирали, в зонах максимального подъема. Если полет с заданной скорости связан с потерей высоты, то она восстанавливается подъёмом спиралью в этих зонах. Полет чисто "дельфином" возможен лишь в том случае, когда при установке кольца на максимальный подъем на заданной скорости (в зависимости от величины вертикальной скорости траектория может быть горизонтальная или снижающаяся) нет потери высоты. Если полет на заданной траектории ведёт к избытку высоты, то установка кольца повышается на столько, чтобы достичь максимальной средней скорости. Поэтому неправильно будет устанавливать кольцо на скороподъемность меньше максимальной. В этом отношении совпадают результаты всех моделей.

### СПИРАЛИ И ПЕРЕХОДЫ С ВОДОБАЛЛАСТОМ. СИЛЫ В ПОЛЁТЕ ПО СПИРАЛИ.

При полете по спирали, вследствие создания центростремительной силы, возникают более высокие нагрузки на крыло, (перегрузки на спирали), чем в прямолинейном полете. Центростремительная сила зависит от радиуса спирали и скорости полета. Чем меньше радиус и выше скорость, тем большей величины центростремительная сила. Для уравнивания прикладываются инерционная, центробежная сила, которая действует горизонтально в направлении, противоположном центростремительной. Сила веса действует вертикально. Складывая эти силы, получим результирующую  $R$ .



Полная аэродинамическая сила  $A$  на установившейся спирали должна быть противоположно направлена и равна по величине результирующей  $R$ . Для этого необходим угол крена такой, чтобы эти силы находились в одной плоскости. Угол крена косвенно связан с величиной центростремительной силы и перегрузки, которую должен выдерживать планер (В примере  $A/G = 2,3$ ). Увеличение подъемной силы приводит к возрастанию сопротивления, что вызывает увеличение спуска на спирали. Скорости, характерные для прямолинейного полёта, на спирали уже не имеют того значения, поэтому необходимо сделать пересчет поляр в специальные спиральные поляры.



При уменьшении радиуса спирали возрастает коэффициент подъемной силы, и при радиусе 47 метров достигает максимального значения. Вместе с тем вертикальная скорость выше, чем соответствующая той же скорости прямолинейного планирования.

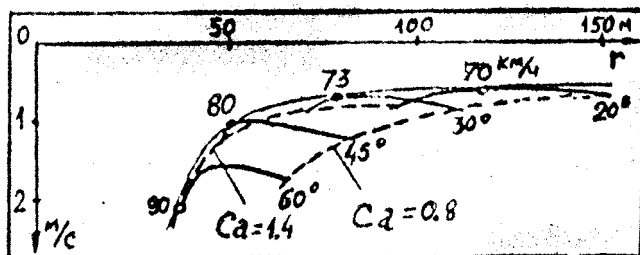


## ПОЛЯРА С ПОСТОЯННЫМ УГЛОМ КРЕНА.

При определённом угле крена, например, 45 градусов, с перегрузкой при этом 1,4 при правильной, спирали соответствующая перегрузка может быть получена при полете с меньшей скоростью по меньшему радиусу спирали или по увеличенному радиусу с большей скоростью полета. Зависимость вертикальной скорости от радиуса при заданном крене показана на рисунке выше.

### СПИРАЛЬНАЯ ПОЛЯРА.

Семейство поляр с различными величинами угла крена, выполненных на одной диаграмме, даст огибающую кривую – спиральную поляру, для которой характерно наиболее благоприятное для данного радиуса сочетание скорости полета, крена и вертикальной скорости.



Спиральная поляра представляет собой оптимальную кривую, для которой характеристики спирали наилучшие. Из приведенного примера ясно, что крутые спирали требуют более высокой скорости полета и вместе с тем повышенных значений коэффициентов подъемной силы (или углов атаки).

### ВЛИЯНИЕ ВОДОБАЛЛАСТА.

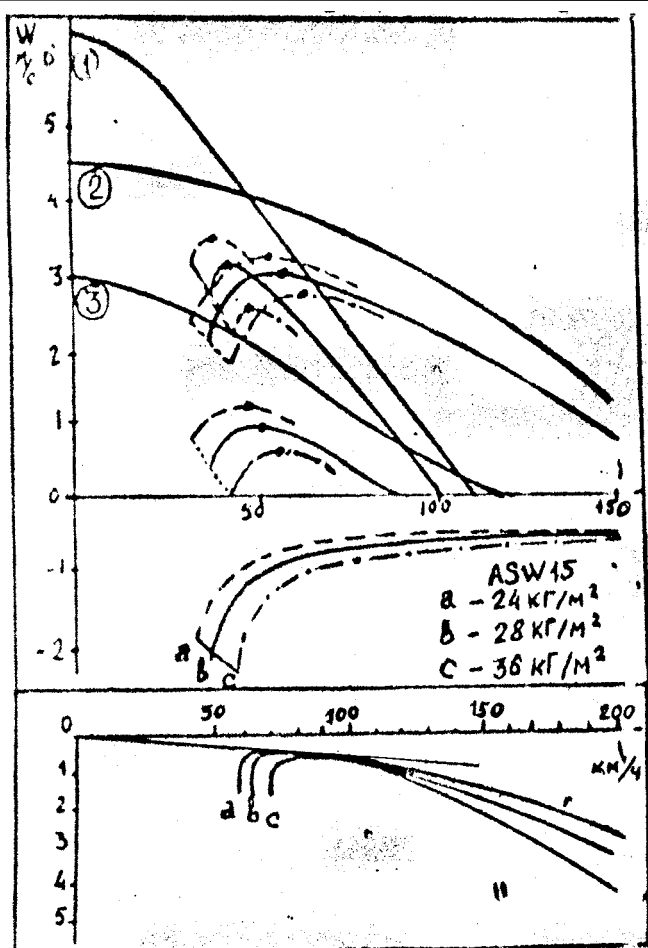
В то время как повышенный вес при прямолинейном полете вызывает потери только в области малых скоростей полета (до максимального качества), а при высоких скоростях даёт преимущество, - увеличение веса значительно ухудшает характеристики спирали. При большом радиусе спирали потери ещё довольно небольшие, но при уменьшении радиуса резко возрастают. Чем тяжелее планер, тем раньше достигается максимальное значение коэффициента подъемной силы при уменьшении радиуса спирали, и дальнейшее уменьшение радиуса становится просто невозможным. На следующем графике ниже оси  $r$  приведены спиральные поляры «АСВ-15» для нагрузки на крыло 24, 28, и 36 кгс/м.кв., которые ясно показывают эту тенденцию.

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ВОСХОДЯЩЕГО ПОТОКА. «НАБОР-ПЕРЕХОД».

Если в каждом случае известно распределение скорости подъема воздушной массы, то, вычитая из скороподъемности потока скорость снижения планера по спиральной поляре (сложение ординатных величин), можно получить оптимальную скороподъемность и связанные с этим режимом спирали крен и скорость на данном радиусе. К сожалению, найти восходящий поток не так просто, к тому же они не имеют форму окружности, и скороподъемность в них распределена неравномерно. Всё же при определении лётных характеристик планера часто исходят из стандартного распределения скороподъемности в потоке, для которой рассчитывается средняя путевая скорость в различных метеоусловиях. Это, безусловно, значительное упрощение природных закономерностей, но аргументируется тем, что надо из чего-то исходить.

В зависимости от того, насколько типичны и реальны полагаемые гипотезы, появляются действительные планера, которые имеют хорошие летные характеристики в слабых метеоусловиях при несколько худших скоростных характеристиках или наоборот. Наиболее трудная задача конструктора - найти среднюю величину. При конструировании планера "Д-36" - был найден другой подход к этой дилемме. Организованный опрос пилотов экстракласса дал ответ на вопрос как они - быстрее всего набирают высоту в спирали. Результат был вполне однозначен - крен 40 градусов. Следовательно, конструкторам стало ясно, что средние восходящие потоки, имеют градиент 0,015 м/сек на каждый метр по радиусу, если только предположить, что наши дорогие пилоты высшего класса летают всегда оптимально.

И действительно, большая часть планеров нового поколения из пластмасс были спроектированы по этим новым принципам. Хотя практическое применение кривых скороподъемности планера в потоке сомнительно, график, приведенный ниже, поясняет принцип определения характеристик скороподъемности.



Примем три профиля термика:

1. «Сильный термик».
2. «Широкий термик».
3. «Слабый термик».

Это распределение, разработанное Кармайклом, использовалось различными группами конструкторов при проектировании планеров.

Предполагаем, что в этих потоках выполняют спирали три планера «АСВ-15» стандартного класса с различной нагрузкой на крыло: «а» = 24 кгс/м.кв., «b» = 28 кгс/м.кв., «с» = 36 кгс/м.кв. и определяем оптимальные режимы набора и средние путевые скорости «классического» полёта. Отмеченные точки на кривых скороподъёмности и спиральных полярах показывают режимы максимальной скороподъёмности. Исходя из этих величин скороподъёмности, проводим касательную к поляре прямолинейного планирования для каждого значения нагрузки на крыло и получаем среднюю путевую скорость общеизвестным способом, как отрезок до пересечения касательной с осью скоростей.

Для данного случая получим:

G/S, кгс/м.кв.	24	28	36
«Сильный поток», км/час	95	98	95
«Широкий поток», км/час	93	94	100
«Слабый поток», км/час	65	58	50

Сравнивая результаты, видим, что «широкий поток» характеризуется не только протяжённостью, но и как сильный, так как даёт такие же скороподъёмности планера, как «сильный поток» - около 3 м/сек. Сильный поток, если он узкий, не даёт возможности более тяжёлому планеру «с» иметь большую путевую скорость. Он имеет такие потери скороподъёмности, что не может иметь путевую скорость больше, чем планер с наименьшей нагрузкой на крыло. Планер со средней нагрузкой на крыло в этом случае – наилучший компромисс. «Широкий термик», если он достаточно сильный, даёт большие преимущества планеру с максимальной нагрузкой на крыло. Слабый поток обычно

и очень узкий, поэтому ведёт к заметным различиям в скороподъёмности.

Тяжелый планер «с» имеет скороподъёмность 0,6 м/сек, т.е. половину той, которую имеет самый легкий планер «а», что приводит к большой разнице в средней путевой скорости.

Даже если эти примеры не совсем типичны, то все равно они ясно показывают, что для выбора оптимальной нагрузки на крыло (водобалласта) недостаточно исходить только из достигнутой скороподъёмности - ширина потоков играет решающую роль.

При крутых спиралях, водобалласт в большей мере сказывается на скороподъёмности, чем при более пологих. При решении вопроса лететь с водобалластом или без него, следует исходить из силы, ширины и распределения восходящих потоков.