

СССР

ПРОЛЕТАРИИ ВСЕХ СТРАН, СОЕДИНЯЙТЕСЬ!

А. АПАРИН

ЗВУКОМЕТРИЯ

ЧАСТЬ I

ТЕОРИЯ ЗВУКОВОЙ РАЗВЕДКИ
И ПРИСТРЕЛКА ПО ЗВУКУ



31

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА

Апарин, А. Звукометрия, часть I. Теория звуковой разведки и пристрелка по звуку. Новый приобретающий с каждым днем все большее значение вид разведки — звуковая — находится еще в стадии изучения и исканий наиболее целесообразных методов ее практического применения в бою. Взгляды на этот вид разведки окончательно не установились как в РККА, так и в зарубежных армиях. Так же не окончательно установилась и материальная часть, на которой базируются звукобатареи. Все это естественно делает крайне затруднительным дать в настоящее время курс звукометрии, полностью отвечающий потребностям военных школ РККА. Поэтому издательство сочло необходимым наряду с только что вышедшим трудом Синькова „Звуковая разведка артиллерии в полевой армии“ предложить вниманию военных школ и начсостава артиллерии также и настоящий труд преподавателя АКУКС А. Апарина. Этот труд представляет собой курс, читанный автором слушателям разведывательного отделения АКУКС и предназначенный в первую очередь для начсостава звукобатарей. Однако в значительной своей части книжка может быть использована в качестве пособия также в артиллерийских школах РККА и на других отделениях АКУКС. Для удобства пользования ею вспомогательные выводы формул и второстепенные вопросы выделены мелким шрифтом, а частью даны в приложениях. Автор несомненно перегрузил свой курс математическими выкладками и расчетами, от которых в настоящее время звукометрия благодаря достижениям техники и методики ее применения частично освобождается. Крупным недостатком труда является также полное отсутствие в нем тактического элемента, благодаря чему теория как бы отрывается от практики. Несмотря на все это настоящий труд должен сыграть немалую роль в деле ознакомления артиллеристов и особенно звукометристов с теорией новой важной отрасли их службы и как материал для выработки в дальнейшем полноценного и официально признанного курса звукометрии для всех артиллерийских школ и курсов РККА.

К печати подготовили:
Редактор *В. Внуков*
Технический редактор *Комлев*
Корректор *Петрова*

Рукопись сдана в набор 4/IX 1931 г.
Подписана к печати 22/XI 1931 г.
Вышла в свет в декабре 1931 г.
Количество знаков 40.320.
Размер бумаги 82X110/32.

ОТ АВТОРА.

Приступая к написанию настоящего руководства, я ставил себе задачей по возможности в сжатой форме дать пособие для изучения основ звукометрии. Настоящий курс в основном не претендует на оригинальность и базируется на труде Б. Г. Позоева „Основы звукометрии“ — единственной книге¹, вышедшей у нас по этому вопросу. Объем предполагаемого курса приурочен к учебным программам разведывательного отделения АКУКС и рассчитан на круг читателей со средней математической подготовкой. Некоторые сведения из аналитической геометрии приводятся в приложении I, вывод же всех формул как основных, так и поправочных изложен в тексте.

Отсутствие на нашем книжном рынке каких-либо руководств и учебников по вопросам звукометрии побудило меня приступить к изданию I части курса, не ожидая окончания работы над II.

Во II части предполагается рассмотреть:

- 1) основания устройства звукометрических приборов;
- 2) вопросы расположения акустических баз на местности и метеорологического обслуживания их работы;
- 3) вопрос о точности звукометрической засечки.

Считаю своим долгом выразить искреннюю признательность Б. Г. Позоеву и В. К. Холкину за полученные от них ценные указания и советы.

А. Апарин.

¹ Ко времени окончания настоящего труда.

ВВЕДЕНИЕ.

Первая попытка использовать „звук“ в военном деле относится к 1884 г., когда впервые во Франции на Гаврском полигоне были поставлены опыты для наблюдения за звуками, сопровождающими полет снаряда.

Результатом этих опытов было изучение области, в которой происходит и наблюдается возмущение воздушной среды летящим снарядом, так называемое „акустическое поле“.

Дальнейшие работы в этой области не только подтвердили наличие двух волн при выстрелах из орудий с начальными скоростями, превышающими обычную скорость звука, но и окончательно установили, что первая из них порождается снарядом, а вторая есть собственно то, что мы называем „звуком выстрела“.

Несколько позже, в 1885 г., в Вене проф. Mach'у удалось получить фотографию снаряда на полете, а в 1887 г. артиллерийские журналы воспроизвели и полученные Mach'ом фотографии волн, сопровождающих полет снаряда.

Эти волны получили название „волн Mach'a“, а впоследствии за ними установилось название балистических волн в отличие от волн дульных, т. е. волн, образующихся от взрыва пороховых газов при выстреле. Эту терминологию мы и примем при последующем изложении.

На основе наблюдений и изучения полета снаряда к 1891 г. на Гаврском полигоне был разработан и применен метод определения скоростей полета снарядов посредством звуковых явлений, сопровождающих его полет, для чего были построены специальные электроакустические приборы.

Этот метод определения скоростей полета снарядов был первым практическим применением и использованием звука в военном деле.

Сравнительно небольшие дальности прежних полевых артиллерийских орудий и открытые позиции, применявшиеся батареями, делали разведку батарей настолько простой и легкой, что совершенно не нужно было задумы-

ваться над какими-либо специальными видами артиллерийской разведки. Самым актуальным вопросом для командира батареи того времени был вопрос об определении дистанций до целей, в том числе и до батарей противника. На выручку при решении этого вопроса приходили хорошо наметанный за долголетнюю службу артиллерийский глазомер, малые дистанции до цели и иногда карта.

Решение вопроса о направлении батареи в цель было элементарно просто: цель была видна от орудия. С этой точки зрения все было благополучно.

Однако русско-японская война с достаточной убедительностью доказала недолговечность артиллерийских батарей, расположившихся открыто: зачастую такие батареи уничтожались раньше, чем успевали открыть огонь.

Это обстоятельство заставило артиллерию для своего расположения использовать естественные маски, пересеченность местности и учиться стрелять по угломеру, не видя цели от орудия.

Такое положение естественно затруднило и определение дистанций до батарей. В этот период мы видим второй случай применения звука в военном деле и уже не в целях изучения вопросов баллистики, а в целях разведывательных — непосредственно для ведения стрельбы.

Дело в том, что выстрел сопровождается, как известно, двумя явлениями, зарождающимися одновременно, — блеском и звуком, причем наблюдение издали блеска всегда значительно опередит звук, скорость которого по сравнению со скоростью света весьма ограничена. Очевидно, что опережение блеском звука будет тем больше, чем с большей дистанции ведут наблюдения.

Таким образом, если наблюдатель, снабженный секундомером, пустит его стрелку в тот момент, когда заметит блеск выстрела, то очевидно, принимая во внимание колоссальную скорость света, момент пуска стрелки совпадет с моментом зарождения и блеска и звука. Если остановить стрелку секундомера в тот момент, когда наблюдатель услышит звук того же выстрела, блеск которого он видел, то по шкале секундомера он прочтет время, которое звук затратил, чтобы пройти дистанцию от орудия до наблюдателя. Зная время движения и его скорость, легко подсчитать и пройденный путь:

$$D = V \cdot \tau,$$

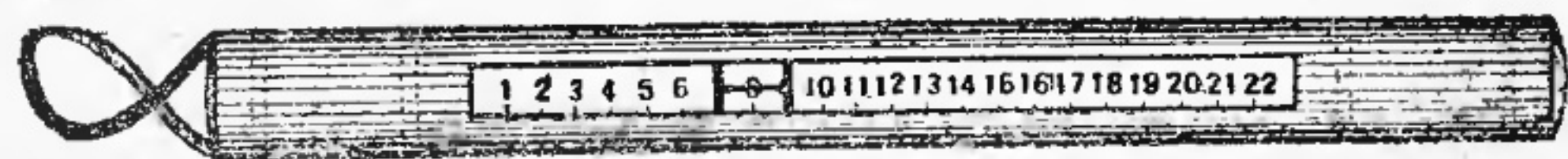
где D — путь или дистанция, V — скорость звука и τ — время, которое звук затратил, чтобы пройти путь D .

Это был первый метод использования звука с разведывательной целью путем непосредственного измерения дистанций в масштабе времени, обусловленном скоростью звука.

К этому же периоду следует отнести и конструирование первого звукометрического прибора, предназначенного для измерения дистанции по звуку. Прибор этот носит название дальномера Буланже по имени своего конструктора.

Дальномер Буланже (черт. 1) устраивался следующим образом:

Стеклянную трубку наполняли жидкостью и снабжали шкалой, на которой наносили деления через каждые 25 саж; в трубке заключался поплавочек,



Черт. 1.

способный под влиянием собственного веса опускаться, когда трубка находится в вертикальном положении.

Плотность жидкости, вес поплавка и деления шкалы подбирались в таком соотношении, что можно было читать дистанцию до звучащей цели в сажениях.

Наблюдатель приводил дальномер в вертикальное положение так, чтобы нуль шкалы был внизу, тогда поплавок опускался и становился против нуля. Заметив блеск выстрела на неприятельской батарее, наблюдатель быстро переворачивал прибор на 180°.

При таком перевернутом положении прибора поплавок начинал опускаться, и движение его продолжалось до тех пор, пока наблюдатель, услышав звук того же выстрела, не приводил прибор в горизонтальное положение. Тогда против остановившегося поплавка оставалось прочесть по шкале дистанцию до цели в сажениях.

Однако все методы непосредственного измерения дистанций до батарей по звуку не могут претендовать на достаточную точность.

Из причин, влияющих на эту точность, упомянем три основные.

Первая, это — непостоянство скорости дульной волны, с которой она проходит дистанцию от места выстрела до наблюдательного пункта. Взрыв пороховых газов дает такой мощный импульс для движения образовавшейся волне, что она в первые моменты после своего образования движется со скоростью, значительно превышающей скорость звука. В последующие моменты эта скорость постепенно уменьшается и, приближаясь к скорости звука, становится равной ей на участке дистанции, иногда значительно удаленном от точки взрыва.

Таким образом, считая скорость движения дульной волны постоянной и равной скорости звука на протяжении всего ее пути, мы неизбежно внесем ошибку в наши определения.

Второй причиной, влияющей на точность определения, является непостоянство скорости реакции человека-наблюдателя не только на различные ощущения, как например блеск и звук, но и на однородные явления. Подробнее об этом будет сказано в главе о звукометрических приборах.

Наконец третья и едва ли не важнейшая причина ошибки, неизбежных при описанных методах работы, это — невозможность отличить дульную волну от баллистической, так как ухо человека воспринимает их одинаково.

Кроме этих соображений следует обратить внимание еще и на то обстоятельство, что в условиях современного боя при весьма значительной насыщенности фронта артиллерией трудно с уверенностью сказать, к какому именно звуку выстрела относится замеченный блеск.

Отметим также, что стремление артиллерии сделать свои батареи невидимыми привело к употреблению разного рода пламегасителей для сокрытия блесков выстрелов, а увеличивающаяся дальность орудий позволяет для расположения батарей выбирать позиции, глубоко укрытые.

Все это вместе взятое делает применение метода непосредственного промера дистанций по звуку неприемлемым, почему он широкого распространения не получил и применение его носило чисто случайный характер.

Во всяком случае ни одна из участвовавших в мировую войну армий к началу войны не имела в своем составе никаких специальных приборов, частей или команд для разведки батарей по звукам выстрелов.

Однако еще в 1909 г. в России Н. А. Бенуа предложил использовать новый метод определения батарей по звуку, основанный на совершенно другом принципе. В это же время им были сконструированы и первые специальные приборы для звуковой разведки батарей. В 1909—1910 гг. уже производились первые опыты, имевшие целью практическую поверку метода и испытание приборов. Опыты эти дали не совсем благоприятные результаты, что и послужило основанием считать новый метод неприемлемым.

Причины неудач этих опытов следует искать как в недостаточной проработке вопросов, касающихся физической стороны явлений, происходящих при выстреле, и физических же условий, сопровождающих движение образованной выстрелом волны, так и в некотором несовершенстве приборов, от которого не могли быть свободны их первые образцы.

Все же следует отметить, что уже в 1914 г. на русском фронте появились первые звукометрические станции, снабженные приборами Бенуа несколько улучшенной конструкции.

Документально известно, что в армиях союзников и у австро-германцев в этот первый период войны никаких звукометрических частей не было.

Французы занялись разработкой вопросов об акустической разведке в период 1914—1915 гг. и, по свидетельству германских источников, уже в 1916 г. имели „достаточно тонко разработанную и хорошо организованную разведку по звуку“.

Разработка этого же вопроса в других армиях относится к еще более позднему времени.

Здесь же необходимо указать, что в 1916 г. в русской армии появились еще 2 звукометрические станции: 1) так называемая В. Ж. (по первым инициалам ее конструкторов Володкевича и Желтова) и 2) Левина. Станции эти были с графической записью, тогда как приборы Бенуа учитывали время, используя шкалу и индикаторную стрелку.

К сожалению о работе упомянутых станций до нас дошли очень недостаточные и отрывочные сведения.

Пользуясь французскими и германскими источниками, следует отметить те весьма положительные и обладающие высокой точностью результаты работ органов акустической разведки, которые были достигнуты в западно-европейских армиях в течение периода напряженных боев на Западном фронте 1917—1918 гг.

Так в 1-й французской армии за время с 7 апреля по 8 августа 1916 г. звукометрической разведкой были определены 974 батареи со следующими ошибками:

до 50 м	59%
от 50 до 100 м	34%
больше 100 м	7%

В сведениях о работе инструментальной артиллерийской разведки в 4-й французской армии за время с 18 по 31 июля 1918 г. приводятся следующие данные о количестве батарей, определенных каждым из видов разведки, причем только на участке IV корпуса местность благоприятствовала работе светометрической разведки:

	IV корпус	XXI корпус	VIII корпус
Светометрия	358	77	100
Зукометрия	120	227	140
Привязные аэростаты	22	6	19
Авиация	45	34	22

Приведенные сведения в достаточной мере характеризуют работу французских звукометрических станций как в отношении количества определенных батарей, так и точности сделанных определений¹.

Интересно отметить, что местоположение германских сверхдальнобойных орудий, обстреливавших Париж с дистанции больше 100 км, также было определено французскими звукометрическими станциями.

Русские станции такими блестящими результатами своей работы похвалиться не могли, да и применение их на фронте не было систематическим. Численность же станций, особенно если принять во внимание протяженность фронта, была очень ограничена.

¹ Что однако совсем не характеризует еще использования результатов звукометрической разведки, а следовательно и практической ее ценности, которая во время мировой войны была в общем невелика. — *Ред.*

ГЛАВА I.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ АКУСТИКИ.

Учение о звуке, акустика, рассматривает звуковые явления с двух точек зрения: 1) с точки зрения тех физиологических ощущений, которые мы получаем с помощью нашего слухового аппарата от колебательных движений частиц той или иной материи,—это так называемая „физиологическая акустика“; 2) с точки зрения изучения самих колебательных движений; этот последний отдел носит название „физической акустики“.

Не задаваясь целью рассматривать все частные вопросы, изучаемые физической акустикой, законы которой тесно связаны с использованием звука в разведывательных целях, мы затронем только некоторые из них, наиболее близко соприкасающиеся с практикою звукометрической службы. К таким вопросам в первую очередь следует отнести вопрос о *скорости звука* в атмосфере.

Большое число работ в этой области, произведенных в 1900—1921 гг., дали среднее значение для скорости звука в атмосфере: $V_0 = 331,5$ м/сек. при условии сухого воздуха и $t^0 = 0^0$.

Это число и принимается нами для скорости звука в указанных условиях (французы принимают $V_0 = 330,8$ м. сек.)¹.

Совершенно очевидно, что, работая в различных атмосферных условиях, придется рассчитывать скорость звука в зависимости от изменения факторов, ее обуславливающих.

Таковыми факторами, как известно, являются температура, влажность и давление.

Для определения скорости звука в зависимости от указанных факторов воспользуемся формулой, выведенной проф. Котовичем и приведенной к указанному ниже виду

¹ Эсклангон. Акустика орудий и снарядов, изд. ВТА.

В. Г. Позоевым. Формула эта устанавливает следующую зависимость между интересующими нас величинами:

$$V_{t, \frac{e}{n}} = V_0 \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{1}{273} t^0}{1 - 0,378 \frac{e}{n}} \cdot \frac{\kappa_2 - 1 + \frac{\kappa_1 - \kappa_2}{\kappa_1} \cdot \frac{e}{n}}{\kappa_2 - 1 + (\kappa_1 - \kappa_2) \cdot \frac{e}{n}}}$$

где $V_{t, \frac{e}{n}}$ есть скорость звука в данный момент в зависимости от температуры, влажности и давления; V_0 — скорость звука в сухом воздухе при $t^0 = 0^0$; $\frac{1}{273}$ — коэффициент расширения газов; $0,378 = (1 - \delta)$, где δ — плотность водяных паров относительно воздуха; $\frac{e}{n}$ — относительное парциальное давление, т.-е. отношение упругости паров воды, содержащихся в воздухе (абсолютная влажность), к общему атмосферному давлению; κ_1 — отношение теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме для сухого воздуха = 1,404 и κ_2 — то же отношение для паров воды = 1,29.

Рассмотрение этой формулы дает возможность заключить, что скорость звука увеличивается с возрастанием температуры и влажности и с уменьшением давления. Конечно подсчитывать скорость звука каждый раз по этой формуле задача хоть и несложная, но требующая значительного количества времени; однако, задаваясь различными значениями t^0 и $\frac{e}{n}$, можно заблаговременно рассчитать значение величины скорости звука при различных условиях и полученные результаты свести в таблицу. Такая таблица рассчитана А. Г. Позоевым и приводится нами в приложении 2 (табл. 3). Для того чтобы не вычислять каждый раз значение относительного парциального давления, м. о.ю также предложена соответствующая таблица (приложение 2, табл. 2).

Пример. Дано: $t^0 = 18^0$; $e = 11$ мм; $n = 750$ мм.
Вспользовавшись табл. 2, в столбце величин „e“ находим цифру „11“ и от нее идем вправо до графы заданного нам давления 750 мм, в которой и читаем искомую величину $\frac{e}{n} = 0,015$.

В таблице скорости звука (табл. 3) в графе температур находим заданную температуру 18^0 и от нее идем вправо до графы определенного уже нами отношения $\frac{e}{n}$, равного 0,015, и в этой графе читаем скорость звука для данных условий равную 342,9.

Величину $\frac{e}{n}$ можно получить непосредственно при обработке показаний сухого и смоченного термометров по формуле Шпрунга, пользуясь таблицей, составленной В. В. Гурьевым (приложение 2, табл. 10). Таблица эта освобождает от необходимости пользоваться психрометрическими таблицами и дает возможность получить нужную величину, избегая промежуточных действий.

Как видно из приведенной выше формулы, мы скорость звука определяем только в зависимости от t° и $\frac{e}{n}$. Никаких величин, ставящих скорость звука в зависимость от наличия ветра той или иной силы и того или иного направления, в эту формулу не входит. Однако это совершенно не значит, что мы игнорируем влияние ветра на изменение скорости звука.

Дело лишь в том, что ввиду изменчивости ветра, а также в силу того, что ветер даже одного и того же направления и скорости будет оказывать совершенно различное влияние на звуковую волну в зависимости от направления, в котором мы наблюдаем ее движение, вопрос о влиянии ветра на распространение звуковой волны необходимо выделить из приведенных выше общих положений о зависимости скорости звука от метеорологических факторов, влияние которых на скорость распространения звука сказывается совершенно одинаково вне зависимости от того, в каком направлении ведется наблюдение.

Вопрос о влиянии ветра на распространение звуковых волн рассматривается нами ниже в главе II.

Следует отметить, что на ряду со звуками, которые воспринимаются нашим ухом и классифицируются физиологической акустикой в зависимости от высоты тона, тембра и т. д., существует еще целый ряд колебательных движений, которые нашим слуховым органом не улавливаются.

Человеческое ухо способно улавливать только такие колебания, которые совершаются с определенной скоростью в пределах от 20 до 20 000 колебаний в секунду.

Если частица совершает 20 колебаний в секунду, то время, затраченное ею на одно полное колебание, равно $\frac{1}{20}$ сек. Эта величина, определяющая время, в течение которого каждая частица совершает одно полное колебание, носит название *периода колебания*.

Состояние колеблющейся частицы в данный момент есть ее *фаза*.

Расстояние между двумя ближайшими частицами, находящимися в одной фазе, носит название *длины волны*.

Скорость распространения волны, ее длина и период колебания связаны следующей зависимостью:

$$\frac{V}{\lambda} = \frac{1}{t},$$

где V — скорость, λ — длина волны и t — период колебания; $\frac{1}{t}$ есть *частота колебания*, следовательно, если период колебания $\frac{1}{20}$ ($t = \frac{1}{20}$), то $\frac{1}{1/20} = 20$ будет частотой колебания.

Обозначив в приведенной выше формуле $\frac{1}{t} = n$, будем иметь:

$$\frac{V}{\lambda} = n$$

и

$$V = \lambda \cdot n$$

Следовательно и длина волны и период колебания обуславливают скорость распространения волны.

Колебания с периодом в пределах $\frac{1}{20}$ сек. — $\frac{1}{20000}$ сек. называют колебаниями звуковыми, частоты этих колебаний — звуковыми частотами, а порожденные этими колебаниями волны — звуковыми волнами.

Если же колебательное движение частиц какой-либо среды имеет период больше $\frac{1}{20}$ (например $\frac{1}{10}$), то такие колебания ухом не воспринимаются. Колебания этого рода носят названия *инфраколебаний*, или *инфразвуков*, а частота этих колебаний в отличие от звуковой частоты носит название *инфрахастоты*.

Колебания с периодом, меньшим $\frac{1}{20000}$ сек., принято называть *ультразвуками* (колебания высокой частоты).

Целый ряд исследований (в том числе весьма обширная по количеству поставленных опытов работа Эсклангона), направленных на изучение скорости распространения инфразвуков, дает возможность заключить, что скорость их распространения обуславливается теми же факторами, что и скорость волн звуковых, а следовательно скорости той и другой волны при одинаковых условиях равны.

К особенностям инфраволн следует отнести их сравнительно более легкую проникаемость в узкие отверстия и вообще туда, куда обыкновенные звуковые волны проникают с трудом.

Эту особенность инфраволн следует объяснить медленным нарастанием ввиду большого периода уплотненной части инфраволны.

Что касается возникновения инфразвуков, то следует отметить, что зарождение инфраволн имеется всегда, когда резко перемещают какой-либо предмет, обладающий значительной поверхностью, например лист картона или фанеры, открывают или закрывают дверь и т. д. Точно так же, резко останавливая какое-либо тело,двигающееся со значительной скоростью, можно получить образование инфраволн; например выпущенный из орудия снаряд при мгновенной остановке в точке встречи порождает инфраволны, которые обнаруживаются соответствующими приборами.

Наблюдения за инфразвуками, порождаемыми открываемой дверью, показывают, что инфраволны способны распространяться не только по всему зданию, в котором производились наблюдения и где их наличие обнаруживается и без приборов (например неплотно закрытая дверь на другом конце здания вздрагивает, а иногда и хлопает в тот момент, когда до нее дойдет инфраволна, получившая свое начало от закрывания другой двери), но и за пределы здания, где специальные приборы могут подтвердить присутствие этих инфраволн.

Дальнейшее изучение инфразвуков показало, что они распространяются на значительно большие расстояния, чем обыкновенные звуки, следовательно меньше подвержены явлению абсорбции, т. е. поглощению энергии колебания средой благодаря трению частиц среды, через которую проникает волна.

Встречая на своем пути разного рода местные предметы (лесные массивы, возвышенности, здания и т. д.), инфраволна способна их обтекать, так что и это свойство обыкновенных звуковых волн, называемое дифракцией, присуще и инфраволнам. То же следует сказать относительно явлений преломления или рефракции инфраволн и их отражения.

ДУЛЬНЫЕ ВОЛНЫ.

О физической природе дульных волн, являющихся объектами наблюдений при акустической разведке, вопрос не поднимался до тех пор, пока практика первого применения звука в разведывательных целях с убедительностью не доказала, что явление „звука выстрела“ есть совершенно не то, за что его принимали. „Звук выстрела“ считали обыкновенным звуком, и для его восприятия применяли обычные зву-

ковые приборы, открытые мембраны, способные реагировать на колебания звуковых частот. Целый ряд неудач в области акустической разведки, которые потерпели не только русские звукометристы, но и французы на первых шагах своей работы, заставили обратиться к изучению физики явления, называемого „звуком выстрела“.

Разработка этого достаточно сложного вопроса изложена в труде Экслангона „Акустика орудий и снарядов“.

Работа Экслангона в области изучения природы звука выстрела сопровождалась большим числом опытов, которые и подтвердили сделанные им предположения. Рассматривать эти опыты мы здесь не будем, изучение этого вопроса в наши задачи не входит. Ограничимся только изложением тех сведений, которые дадут нам возможность отдавать себе отчет в том, что происходит при выстреле, и на основании этого иметь ясное понимание работы тех приборов, которые предназначены для обслуживания акустической разведки.

Следует раньше всего обратить внимание на то обстоятельство, что на ряду с волнами звуковыми в природе существуют еще волны, известные под названием волн ударных. Звуковая волна, как известно, имеет своим источником колебательное движение материи; волна ударная зарождается от мгновенного толчка большой силы, именуемого импульсом. Это — основное отличие волн ударных от волн звуковых. Такие импульсы, от воздействия которых на окружающую среду образуются ударные волны, могут быть вызваны искусственно, например при подрыве того или иного количества взрывчатого вещества, или образуются независимо от нашей воли, а иногда и вопреки ей, как например при взрыве скопившегося газа в шахтах, при землетрясениях и вулканических извержениях и т. п. Образует ударную волну взрыв продуктов разложения пороха, пороховых газов, которые выбрасываются из канала ствола и, обладая достаточно высокой температурой, взрываются при соединении с кислородом воздуха. Эту ударную волну мы условились называть дульной.

Очаг взрыва — центр дульной волны — находится следовательно в некотором удалении от дульного среза. Это удаление тем больше, чем большей скоростью обладали пороховые газы при вылете их из канала ствола, и может достигать до нескольких метров.

Мощность толчка, который испытывают частицы воздуха, непосредственно соприкасающиеся с клубком выброшенных газов, настолько велика, что эти частицы отбрасываются на

значительное расстояние с большой силой, что способствует не только скорости нарастания уплотнения в сгущенной части волны, но и само уплотнение частиц среды в этой части волны увеличивается.

Если принять за единицу уплотнение в сгущенной части звуковой волны, то таковое же в волне ударной выразится 10^7 ¹. Таким образом слой атмосферы значительной толщины, обладающий большой плотностью, от силы взрыва получает поступательное движение, что и служит причиной образования инфразвуков. Так как действие взрыва направлено во все стороны, то дульная волна получает сферическую поверхность и распространяется во все стороны равномерно.

В месте взрыва ввиду очень быстрого нарастания уплотнения частиц среды развивается колоссальное давление, достигающее до нескольких тысяч атмосфер.

Это увеличение атмосферного давления передается окружающей среде и может быть наблюдаемо хотя и сильно ослабленным в значительном удалении от места взрыва — от стреляющего орудия.

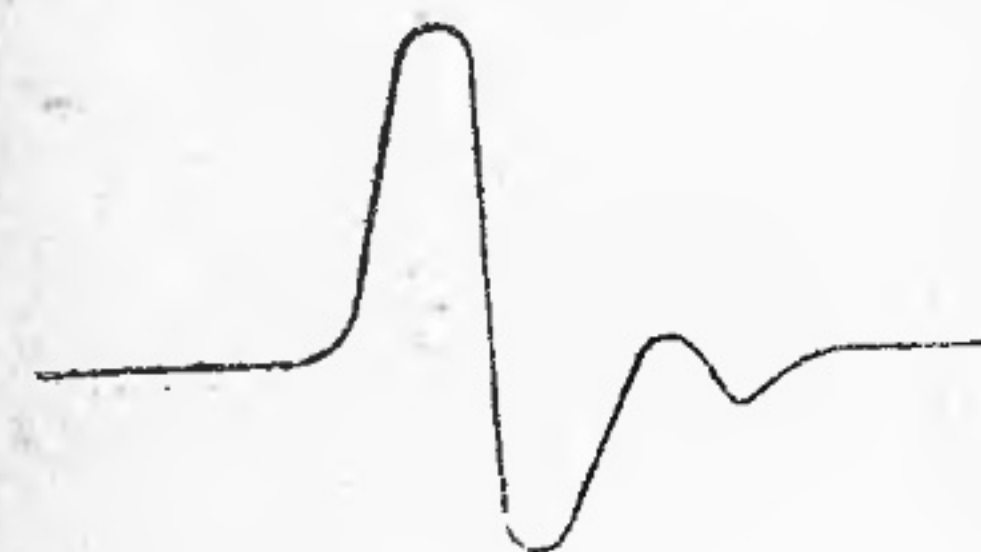
Установив таким образом физическую природу дульной волны, мы можем сделать заключение, что дульная волна не есть звук в том понимании этого слова, в котором его обычно принято употреблять. Однако следует отметить, что наряду с ударной волной при выстреле порождаются еще и звуковые волны в собственном смысле, т. е. волны, зародившиеся от колебательных движений и обладающие звуковой частотой. Источником образования этих волн служит например тело орудия, которое вибрирует при выстреле и порождает волны звуковой частоты. Волны эти очень слабы, и выделить их из общей массы ударной волны не удастся.

Из всего сказанного выше непосредственно вытекает следующий вопрос: если дульная волна не есть волна звуковая и если звуковые частоты, побочно образуемые при выстреле, слабы, то почему же мы не только воспринимаем ухом явление выстрела, но еще и умеем различать выстрелы различных орудий? Раньше чем ответить на этот вопрос рассмотрим один из простых опытов, который с достаточной ясностью может доказать, что дульная волна не является звуком.

Если на огневой позиции перед выстрелом нажать разговорный клапан микротелефонной трубки и не отпускать

его до тех пор, пока выстрел не будет произведен, а на наблюдательном пункте слушать в телефон, то окажется, что выстрела в телефон мы не услышим, а телефон передаст нам только небольшой шелчок, который мы сумели бы получить и в том случае, если бы выстрела не было, а по микрофону слегка ударили бы карандашом или другим подходящим предметом. Получается это потому, что микрофон представляет собой прибор, назначенный передавать человеческую речь и другие звуковые частоты (например игру на любом музыкальном инструменте).

Дульная волна, порождаемая незвуковыми колебаниями, естественно не может и сообщить их микрофону, а инфра-частот микрофон принять не способен; он на них не рас-



Черт. 2.

считан и передает лишь то, что сам испытывает, т. е. удар по своей поверхности частиц воздуха. Точно такой же удар принимает и передает микрофон при „продувании трубки“, только ввиду непрерывного потока воздуха при этом получается ряд маленьких толчков, быстро следующих один

за другим, которые и передаются в виде шума. Если бы дульная волна обладала звуковыми частотами, то микрофон без труда передал бы ее. Этот простой опыт служит доказательством положения, что дульная волна не есть волна звуковая.

Это положение кажется нам бесспорным и ясным, к вопросу же о причинах „слышимости“ выстрела следует подойти осторожно.

Эсклангон, желая поверить сделанное предположение о наличии резкого повышения давления при выстреле, производил наблюдения в некотором удалении от орудия с помощью очень чувствительного к изменениям давления прибора, внешне близкого по своей конструкции к барографу.

Этот прибор, обладающий способностью записывать только быстро протекающие изменения давления, отмечал резкое повышение давления в момент выстрела (черт. 2).

Это резкое повышение давления Эсклангон назвал *манометрическим толчком*, нарушающим непрерывность и плавность обычного изменения барометрического давления. Вот наличием этого разрыва непрерывности изменения атмосферного давления Эсклангон и объясняет

¹ Альтберг, Атмосферная акустика, Геофизический сборник, т. II, 1915г.

то обстоятельство, что выстрел производит на наш слуховой аппарат определенное ощущение, которое мы называем ощущением детонации или взрыва.

Для того чтобы установить правдоподобность этого положения, необходимо раньше выяснить, действительно ли способен наш слуховой аппарат реагировать на резкое изменение атмосферного давления.

Обратим внимание на следующий простой опыт: если зажать нос и произвести глотательное движение, то в ушах мы уловим очень небольшой по силе щелчок, похожий на слабую детонацию.

Дело в том, что в момент глотания происходит расширение гортани, мускулы сокращаются и производят некоторое давление на ткани и оболочки, прикрывающие полости и проходы, помещающиеся в черепной коробке. Это давление передается уху и воспринимается им как детонация. То же самое, но только в больших размерах, происходит и при наличии ударных волн, идущих извне.

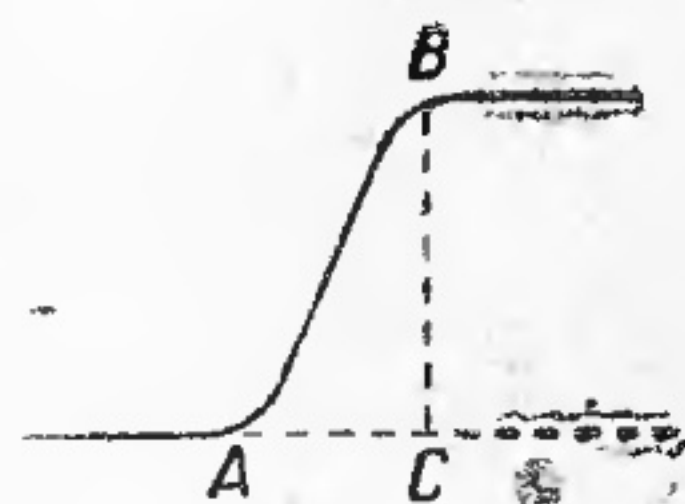
Таким образом высказанное положение о причинах слышимости ударных волн становится правдоподобным и находит себе подтверждение в свойствах уха.

Казалось бы, что взрывы большего количества взрывчатого вещества и выстрелы из орудий больших калибров, развивающие большее давление, должны были бы производить и более резкую на слух детонацию. Однако выстрелы из малых калибров кажутся нам более сухими и резкими и производят более неприятное впечатление, чем выстрелы больших калибров. Происходит это потому, что на резкость детонации влияет не столько величина давления, сколько быстрота нарастания этого давления.

У орудий малых калибров первоначальный фронт волны меньше, и в пределах этого фронта давление нарастает быстрее.

У дульных волн больших калибров нарастание давления происходит в большем объеме, следовательно совершается медленнее, поэтому они хотя и обладают большей мощностью, но не кажутся нам столь резкими.

Быстрота нарастания давления при записи на приборе характеризуется наклоном линии AB , интенсивность же явления, абсолютная величина возросшего давления характеризуется размахом (амплитудой) записи, т. е. величиною AC (черт. 3).

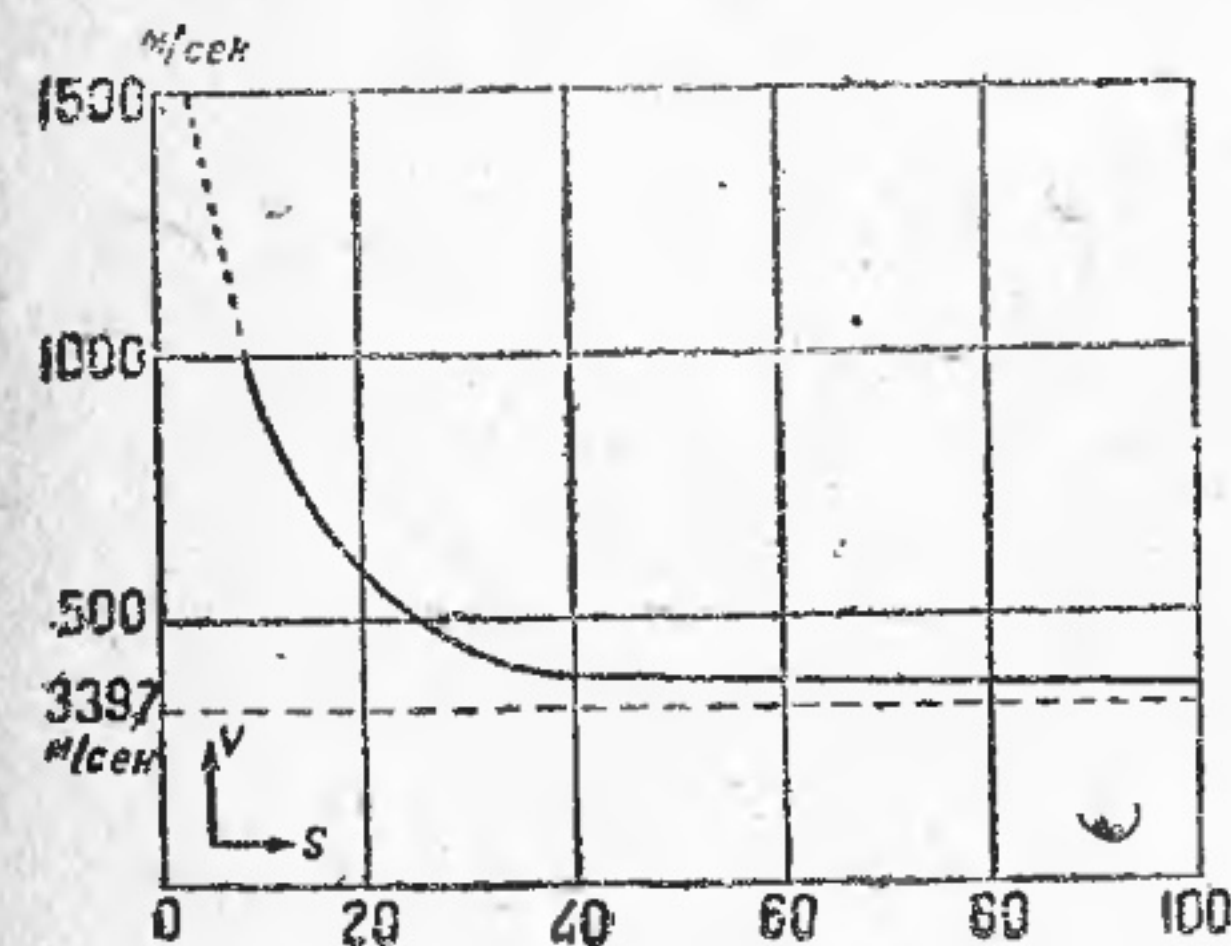


Черт. 3.

Очевидно наклон линии AB дает представление о мощности манометрического толчка и выразится отношением $AB : AC$.

По мере удаления от очага взрыва давление, развитое дульной волной, постепенно ослабевает, наконец совершенно исчезает, и выстрел перестает быть слышимым.

Однако инфразвуки, образованные при взрыве пороховых газов, еще не исчезают и могут быть легко наблюдаемы тогда, когда выстрел уже не слышим.



Черт. 4.

Часто дальняя артиллерийская стрельба бывает не слышна на открытом воздухе, в то время как стекла в окнах закрытых помещений заметно вздрагивают, что и указывает на наличие инфраволн достаточной силы.

Целый ряд исследований показал, что скорость распространения ударных волн в первые моменты их образования во много раз больше скорости

звука по мере удаления приближается к скорости звука и становится равной ей примерно в расстоянии 1 км от очага взрыва.

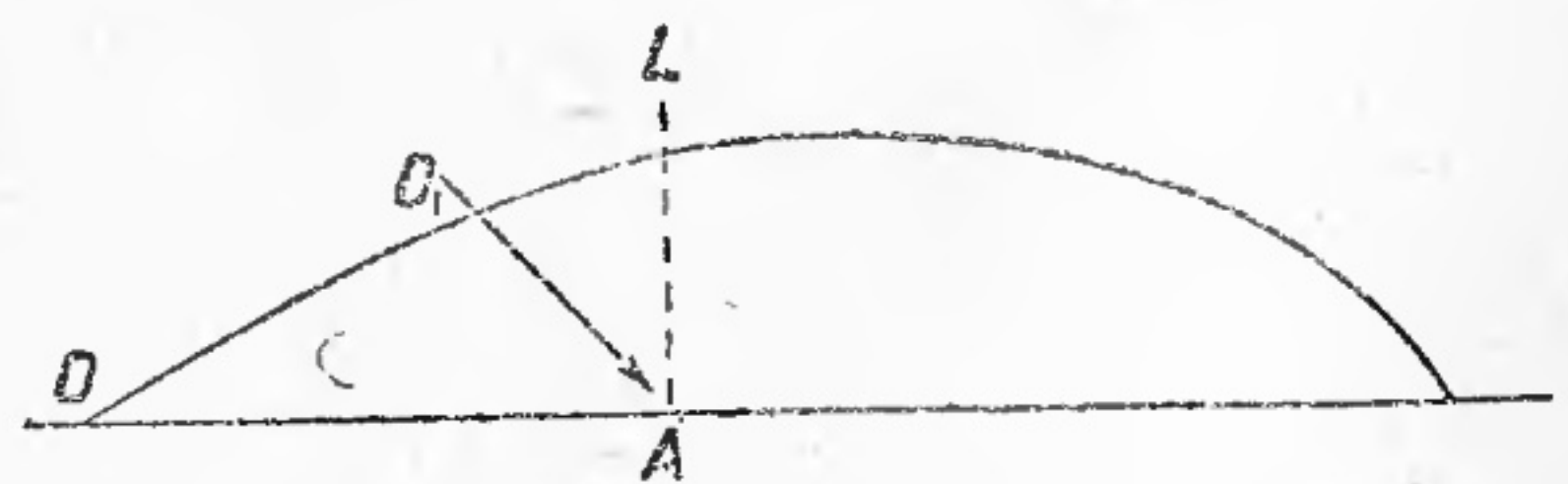
Ниже приводится кривая падения скорости ударной волны, полученная *Wolff*'ом (черт. 4). По оси абсцисс отложены дистанции наблюдения от очага взрыва, а по оси ординат — скорости ударной волны. Пунктиром показана скорость звука в момент производства наблюдений.

БАЛИСТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ.

Как уже указывалось, выстрел из орудия снарядом, обладающим начальной скоростью большей скорости звука, порождает не только дульную волну, но еще и волну *балистическую*.

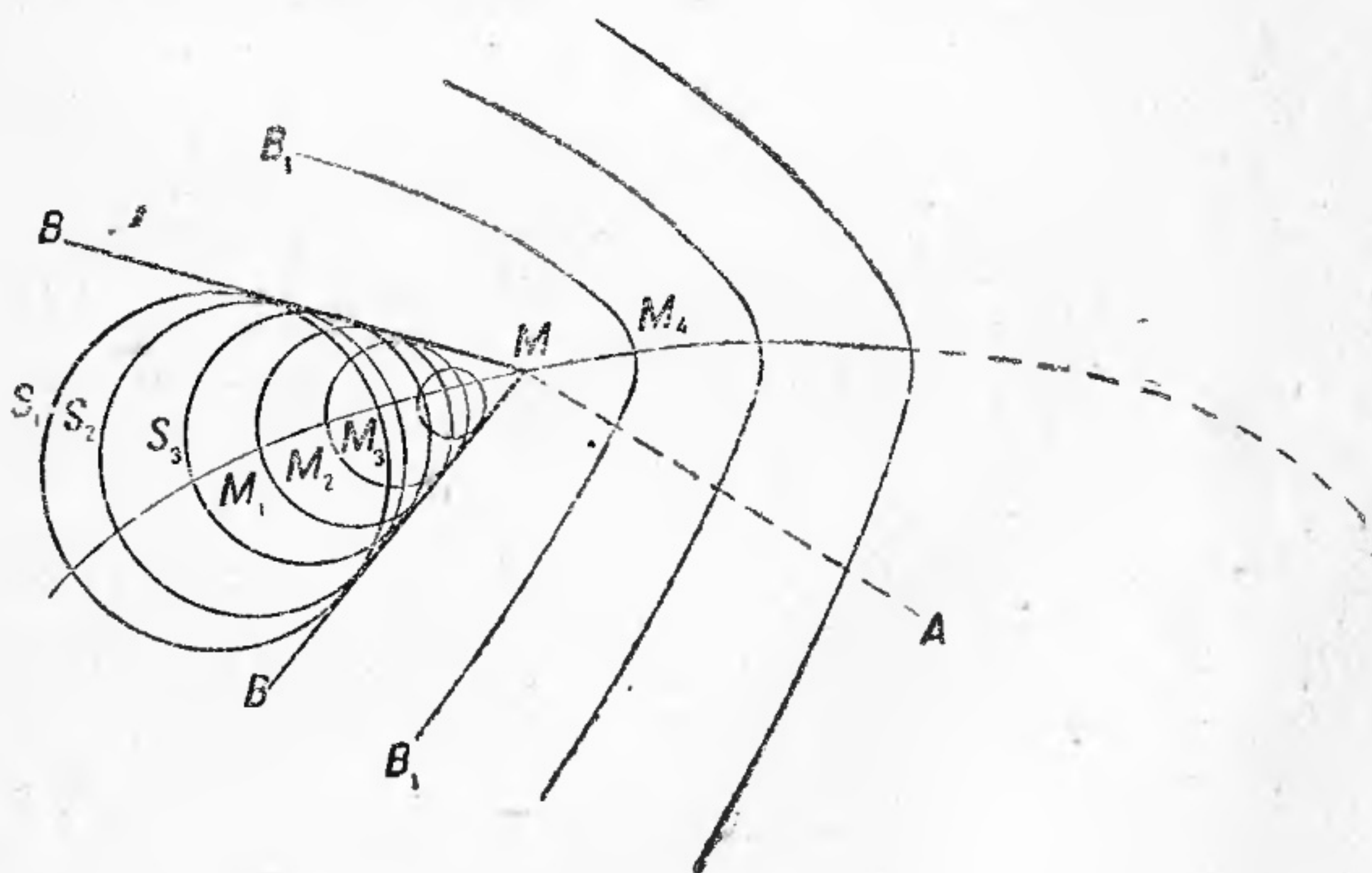
Наблюдатель, расположенный вблизи плоскости стрельбы, в точке A (черт. 5), при стрельбе из орудия O с начальной скоростью, большей скорости звука, услышит сначала резкую и сухую детонацию, как бы разрыв снаряда, произведенный в верхних слоях атмосферы. Звук этого „разрыва“ кажется идущим из точки O_1 , лежащей внутри угла LAO .

Если расстояние AO достаточно велико, то после этой первой детонации наступает полная тишина и затем через некоторое время до наблюдателя дойдет дульная волна из точки O . Первая детонация и есть балистическая волна, порождаемая снарядом.



Черт. 5.

Дело в том, что снаряд в каждой точке траектории встречает слой атмосферы, находящийся в состоянии относительного покоя. Обладая значительной живой силой, сна-



Черт. 6.

ряд ударяется об эту воздушную преграду, преодолевает сцепление ее частиц, отбрасывая их в стороны, и тем самым порождает ряд колебательных движений этих частиц; колебательные движения передаются соседним частицам и распространяются сферическими волнами со скоростью звука.

Если в момент t снаряд находился в точке M (черт. 6), то возмущения, произведенные им в предыдущих точках траектории $M_1, M_2, M_3, \dots$, которые он проходил соот-

ветственно в моменты $t_1, t_2, t_3, \dots$, успеют распространиться на некоторое расстояние, и радиусы сфер их распространения будут $r_1 = V(t - t_1)$; $r_2 = V(t - t_2)$; $r_3 = V(t - t_3), \dots$, где V — скорость звука, а разности $(t - t_1), (t - t_2), (t - t_3)$ и т. д. есть промежутки времени, затраченные снарядом, чтобы пройти по траектории пути M_1M, M_2M, M_3M и т. д. Все эти сферические волны благодаря тому, что снаряд движется со скоростью большей, чем скорость их распространения, получают общую обертывающую BMB , составляющую фронт балистической волны в момент t . Повторяя те же рассуждения и для точки M_4 , соседней с точкой M , получим фронт балистической волны для точки M_4 в виде обертывающей $B_1M_4B_1$; точно так же и для всех последующих точек траектории, в которых скорость снаряда больше скорости звука.

Когда же скорость снаряда окажется равной или меньшей скорости звука, сферы S_1, S_2, S_3 и т. д. будут включены одна в другую и не получат обертывающей; в этом случае образование балистической волны прекратится, а уже образованная будет распространяться со скоростью звука, сохраняя параллельное себе направление.

Очевидно, что чем больше скорость снаряда, тем острее угол при вершине конуса, образующего фронт балистической волны.

Из сказанного можно заключить, что балистическая волна будет наблюдаться только в определенном секторе, в котором пройдут ветви ее обертывающей. За пределами этого сектора, а следовательно и в тылу у орудия, никакого присутствия балистических волн обнаружить нельзя.

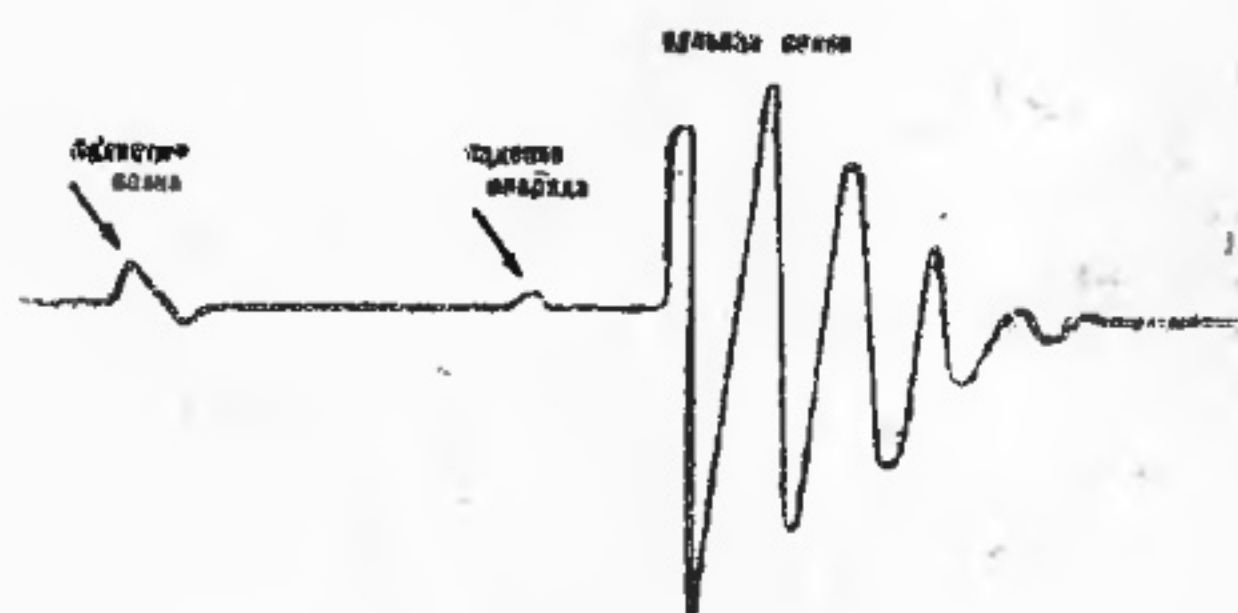
Свист, сопровождающий полет снаряда, ничего общего с балистической волной не имеет и есть результат „завихрений“ в значительно разреженной области, образующейся за донной частью снаряда.

Наблюдения показывают, что на фронте балистической волны создается резкое повышение давления, манометрический толчок, следовательно балистическая волна есть волна ударная.

Однако манометрический толчок, вызывающий ощущение детонации, в балистической волне значительно слабее, чем в дульной.

В расстоянии нескольких сот метров от траектории при стрельбе снарядами крупных калибров обнаруживается повышение давления от 0,1 мм ртутного столба, на самой же траектории развивается давление порядка нескольких атмосфер.

Казалось бы, что раз балистическая волна развивает меньшее давление, то производимая ею детонация должна быть слабее, однако практика говорит обратное: детонация балистической волны значительно более резкая и более неприятная на слух, чем дульной волны. Объясняется это во-первых скоростью нарастания давления, которое в бали-



Черт. 7.

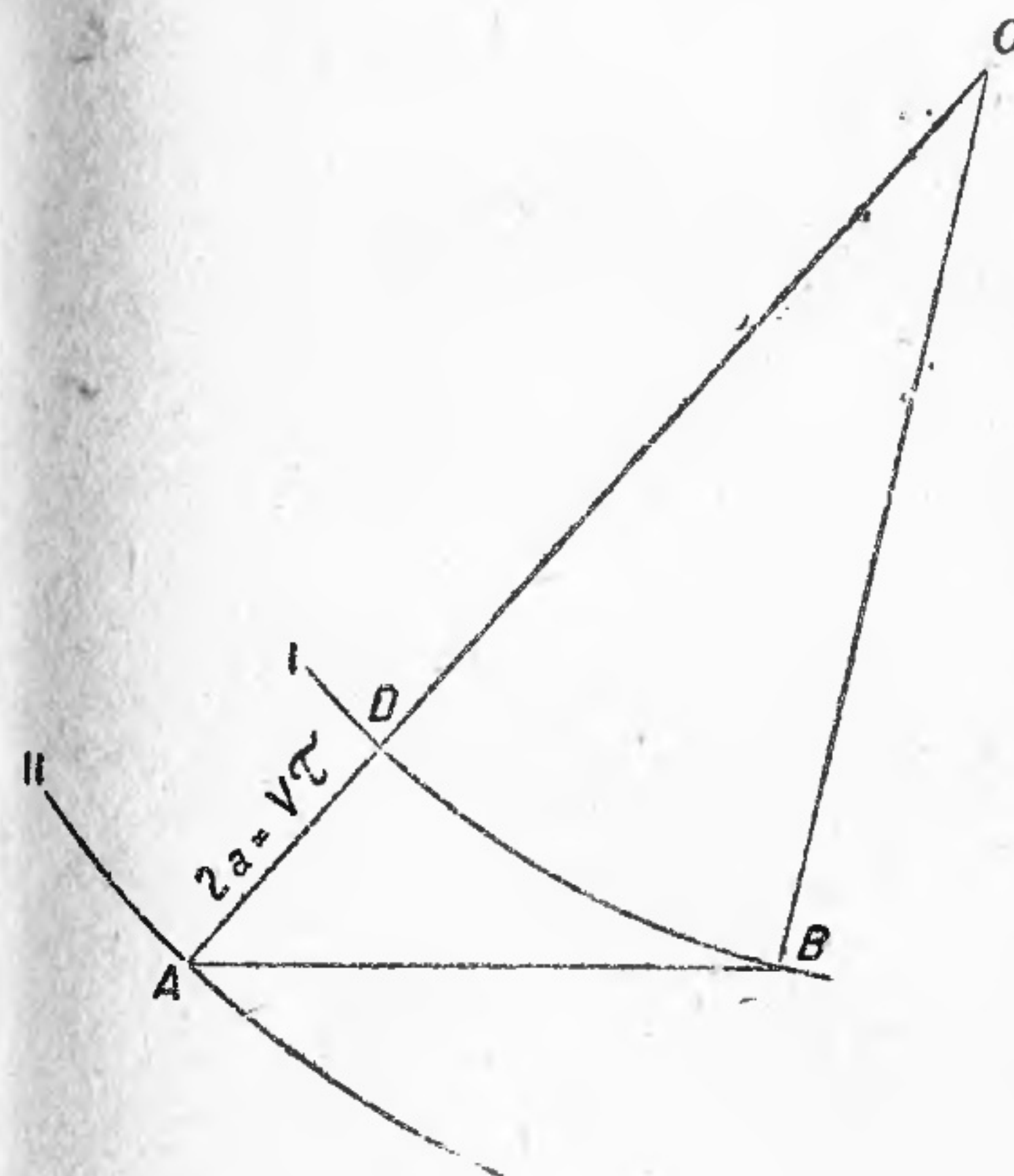
стической волне интенсивнее, а во-вторых тем, что балистическая волна приходит к наблюдателю через свободную атмосферу, тогда как дульная волна, распространяясь вдоль земной поверхности, теряет свою „гулкость“, претерпевая ряд изменений (преломлений и отражений). На черт. 7 приводятся полученные Эсклангоном сравнительные записи балистической и дульной волны 305-мм орудия.

Из всего сказанного следует, что, наблюдая балистическую волну, образованную снарядом в некоторой точке траектории, сделать непосредственное заключение о положении стрелявшего орудия невозможно.

ГЛАВА II.

МЕТОД РАЗНОСТИ ВРЕМЕН.

Разрешение вопроса об определении положения батареи по звуку было найдено путем применения так называемого метода разности времен.



Черт. 8.

Следует заметить, что все наши измерения при использовании метода разности времен мы будем производить в масштабе времени, т. е. в масштабе, который обуславливается скоростью движения. Принятый нами масштаб обуславливается скоростью распространения звуковых волн, каковая должна быть нами подсчитана для каждого отдельного случая согласно изложенного в главе I.

Сущность метода заключается в следующем.

Пусть A и B (черт. 8) — точки, выбранные на местности и нанесенные на планшет. Точка O — искомая, и положение ее неизвестно. Отказавшись от непосредственного промера дистанций AO и BO в масштабе времени, мы задаемся целью измерить разность этих дистанций.

Очевидно, что раз величина AO и BO неизвестны, то измерить их разность в каких-либо линейных единицах

непосредственно не представится возможным. Измерить же эту разность в масштабе времени — задача легко разрешимая.

В самом деле, дульная волна, порожденная в точке O взрывом пороховых газов при выстреле, распространяясь во все стороны с некоторой определенной для данного момента скоростью, в некоторый момент времени займет положение I , достигнув точки B .

Через какой-то промежуток времени та же волна, дойдя до точки A , займет положение II.

Нашей задачей является определить то количество единиц времени, которое волна затратила, чтобы из положения I перейти в положение II, пройдя очевидно путь, равный в данном случае AD .

Для решения этого вопроса в точках A и B установим приборы (звукоприемники), устроенные так, что в момент прихода к ним волны посылают сигнал на какой-либо регистрирующий прибор, с помощью которого можно отсчитывать малые промежутки времени.

Такой прибор легче всего представить в виде секундомера с автоматическим пуском и остановкой стрелки. Подачу же сигнала от звукоприемника на такой секундомер легче всего осуществить с помощью электрического тока.

Пусть наша система приборов устроена и соединена таким способом, что в момент прихода к звукоприемнику *В* волны он разомкнет ток в цепи, соединяющей его с автоматическим секундомером, почему в этот момент стрелка секундомера, находящаяся до этого в покое, начнет двигаться.

Движение стрелки будет происходить до тех пор, пока волна не дойдет до звукоприемника А и этот последний не разомкнет ток в соединяющей его с секундомером цепи. В момент размыкания цепи стрелка секундомера остановится.

В таком случае по шкале секундомера мы прочтем время, которое прошло от момента прихода волны к точке B до момента прихода ее к точке A , другими словами мы будем по шкале секундомера читать время, которое волна затратила, чтобы пройти путь AD .

Обозначив этот путь AD через $2a$, скорость волны в данный момент через V и время, полученное на секундомере через τ , будем иметь

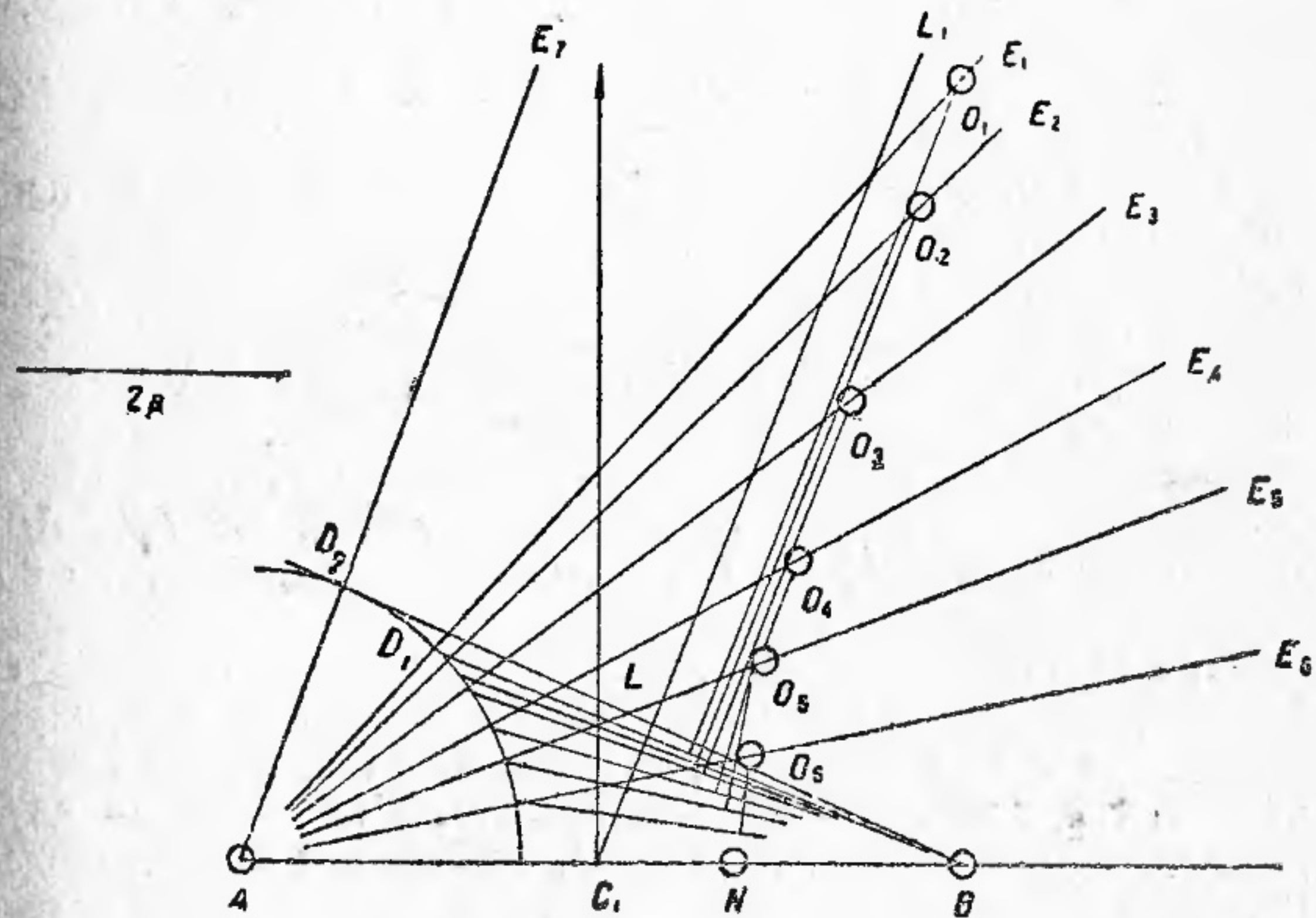
$$2a = V \cdot \tau.$$

(Путь равен скорости, умноженной на время).

Это $2a = V \cdot \tau$ и есть разность расстояний от точки O до двух данных A и B .

Очевидно эта разность расстояний, выраженная в масштабе времени, есть разность времен, отвечающих моментам прибытия волны к точкам A и B , почему и метод получил название метода разности времен.

Посмотрим теперь, как нужно использовать полученную разность расстояний для того, чтобы получить суждение о местоположении искомой точки.



Черт. 9.

Условимся называть расстояние между известными нам точками A и B акустической базой или просто базой, а середину акустической базы C_1 —центром базы.

Пусть на акустической базе AB (черт. 9) нами получена разность времен τ , характеризующая разность расстояний искомой точки O до данных A и B (концов базы).

Эта разность расстояний при некотором V и данном τ выражается отрезком, который мы обозначим через $2a$.

Возьмем произвольное направление AE_1 и посмотрим, может ли на нем найтись такая точка, которая удовлетворила бы данному условию, т. е. чтобы разность расстояний этой точки до двух известных A и B была равна величине $2a$.

Отложим от точки A в направлении AE_1 отрезок AD_1 равный $2a$ и соединим точки D_1 и B прямой. Тогда очевидно точки B и D_1 равно удалены от искомой точки, и BD_1 можно рассматривать как основание равнобедренного треугольника.

Искомая же точка будет лежать в его вершине. Поступая по правилам элементарной геометрии, восстановим из середины основания BD_1 перпендикуляр и продолжим его до пересечения со стороной AE_1 . Полученная при пересечении точка O_1 — вершина равнобедренного треугольника AO_1B , — и будет искомой точкой.

В самом деле: O_1B и O_1D_1 равны, и AO_1 больше BO_1 на заданную величину $2a$.

Так как направление AE_1 было взято нами произвольно, то следовательно какое бы другое направление мы взяли, на каждом из них, повторяя приведенные рассуждения и построения, получим точку, отвечающую данному условию, т. е. разность расстояний ее до A и B будет заданная величина $2a$.

Подобные построения и показаны на черт. 9.

Если же полученные на направления $AE_1, AE_2, AE_3, AE_4, AE_5$ и AE_6 точки O_1, O_2, O_3, O_4, O_5 и O_6 соединим, то получим некоторую ломаную линию.

При достаточно большом числе взятых близко друг к другу направлений вместо ломаной линии мы получим кривую.

Кривая эта „гипербола“, которая и отличается тем свойством, что разность расстояний любой ее точки до двух данных, лежащих в ее „фокусах“, есть величина постоянная и равная ее „вещественной оси“¹.

Так как направления AE_1, AE_2, AE_3 и т. д. взяты нами произвольно, то, взяв ряд произвольных направлений с точки B налево вверх и налево вниз, а от точки A еще

¹ Вещественной осью гиперболы называется отрезок, лежащий на прямой, соединяющей ее фокусы, и заключенный между вершинами гиперболы, т. е. между точками N_1 и N_2 (черт. 10), в которых гипербола пересекает эту прямую.

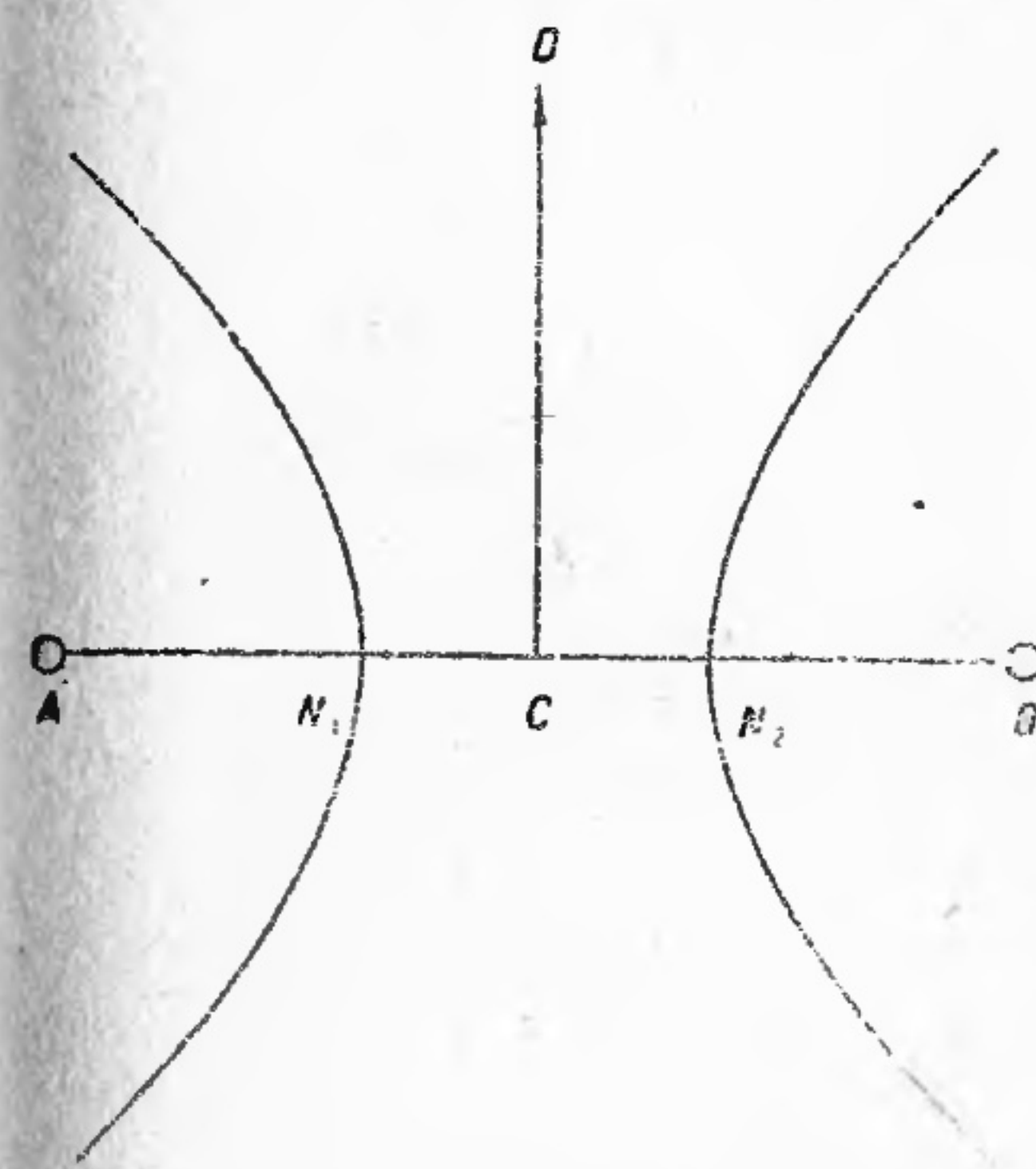
Следует отметить, что среди произвольно выбранных направлений может найтись такое (на черт. 9, AE_7), которое будет параллельно перпендикуляру, построенному из середины прямой BD_7 , и следовательно не пересечется с ним. Это указывает на то, что на направлении AE_7 не лежит ни одной точки гиперболы и следовательно на этом направлении искомая точка находится не может.

Из чертежа видно, что в этом случае перпендикуляр LL_1 пройдет через центр акустической базы и, как показывают вычисления, будет „асимптотой“ полученной гиперболы.

Следовательно направление асимптоты будет ограничивать район возможных положений искомой точки, так как левее асимптоты не может находиться ни одной точки рассматриваемой ветви гиперболы.

направо вниз (черт. 10), мы получим 4 симметрично расположенных полуветви гиперболы, любая точка которой может быть принята за искомую, так как по свойству гиперболы разность расстояний любой ее точки до точек A и B равна полученной нами величине $2a$.

Надо отметить, что любое из взятых нами направлений пересечется с соответствующим перпендикуляром только



Черт. 10.

в одной точке, следовательно на каждой из взятых произвольно прямых будет лежать только одна точка, удовлетворяющая данной разности расстояний, откуда непосредственно следует, что положение фокусов и величина вещественной оси вполне определяют гиперболу. Следовательно при данном положении фокусов и при данной разности расстояний может быть получена только одна гипербола.

Как видно из чертежа 10, гипербола имеет две оси сим-

метрии: 1) AB (N_1N_2), которую гипербола пересекает в точках N_1 и N_2 , это — вещественная ось и 2) CD , которую гипербола не пересекает, почему ее и называют мнимой осью гиперболы.

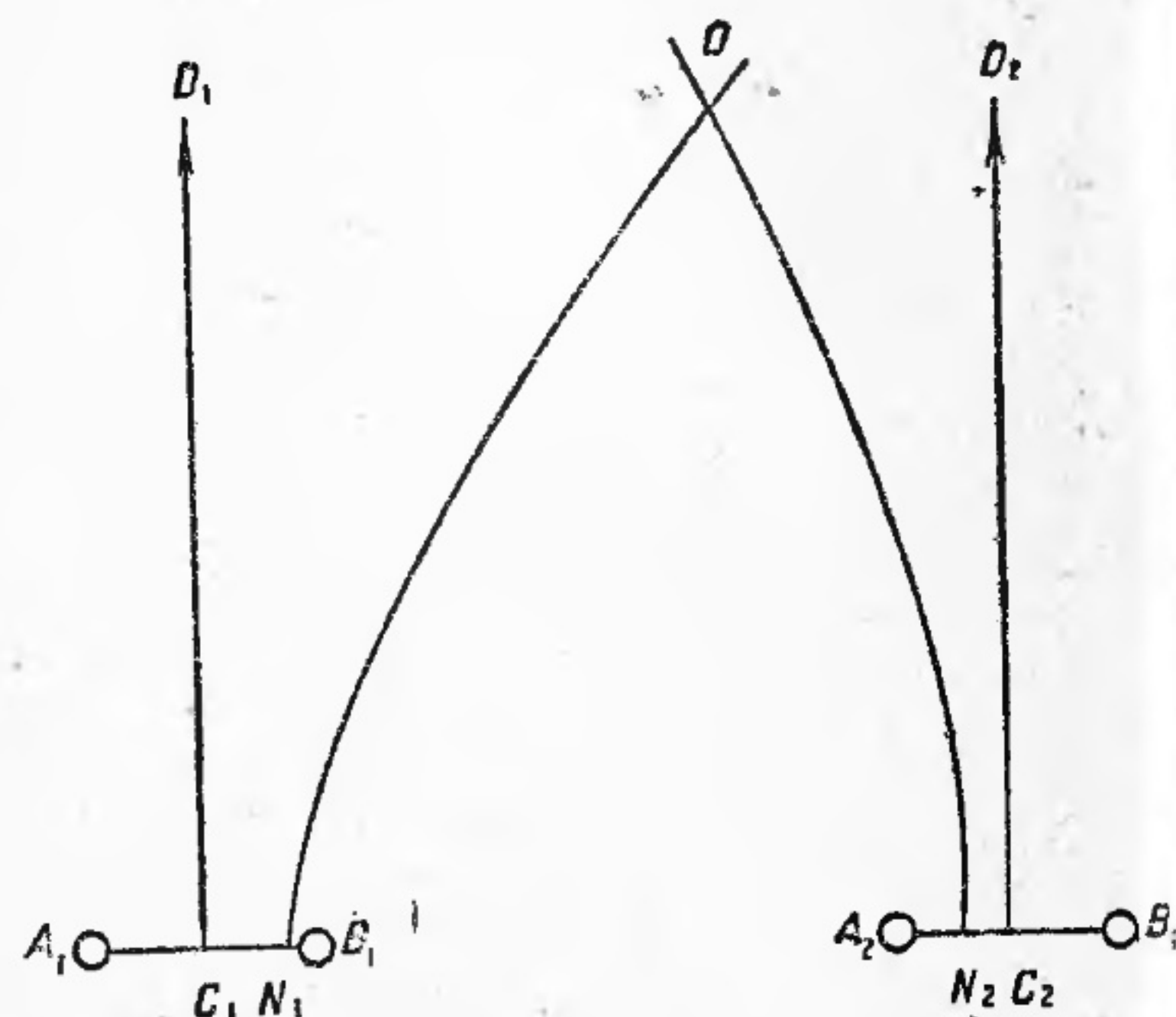
Итак одна акустическая база решить вопроса об истинном положении искомой точки не может. Пользуясь свойством человека различать, откуда пришел звук — спереди или сзади, можно лишь сказать, на каких двух полуветвях может находиться искомая точка. Конструкция современных звукометрических приборов позволяет безошибочно судить о том, на какой из полуветвей гиперболы лежит искомая точка, не прибегая к такому субъективному заключению обслуживающего прибор персонала.

Изложенное в настоящей главе убеждает нас в необходимости для определения источника волны пользоваться не одной, а двумя акустическими базами.

Тогда, если разности времен τ_1 на базе A_1B_1 (черт. 11) удовлетворяет любая точка гиперболы ON_1 и волна пришла справа спереди, а для разности времен τ_2 на базе A_2B_2 удовлетворяет любая точка гиперболы ON_2 и волна пришла на эту базу слева спереди, то очевидно искомая точка находится на пересечении соответствующих ветвей гипербол, построенных на базах по разностям времен τ_1 и τ_2 .

Таким образом решение вопроса сводится к получению на планшете точки пересечения соответствующих ветвей двух гипербол.

Однако следует заметить, что построение гипербол на планшете, а также нахождение координат точки их пересечения путем аналитических расчетов—задачи для полевых условий достаточно сложные и требующие значи-



Черт. 11.

тельного времени. Поэтому для ускорения и упрощения решения задачи по нахождению точки пересечения гипербол предлагалось заранее на кальке типографским путем напечатать семейство гипербол, вычерченных для всевозможных τ при данном положении фокусов. При практической работе вместо непосредственного построения гипербол следовало выбрать среди заготовленного альбома те из них, которые соответствуют данным разностям расстояний, и, наложив их соответствующим образом на планшет, на пересечении их получить искомую точку.

Такой способ, хотя и имеет некоторые преимущества перед непосредственным построением гипербол, все же не свободен от значительных недостатков, как например: все чертежи, исполненные на кальке, от пользования ими в полевых условиях будут мяться, деформироваться и терять свою точность; кроме того вряд ли можно представить, что на все случаи заранее будут заготовлены чертежи соответствующих гипербол. Очевидно возможен случай, когда

для данного τ гиперболы в альбоме не найдется, и тогда придется брать чертеж для τ_1 , ближайшего меньшего, и для τ_2 , ближайшего большего, и производить графическое интерполирование для τ .

По указанным соображениям этот способ не получил широкого применения, хотя и употреблялся станциями В. Ж. и был принят в германской армии.

Оказывается, что для большинства случаев, которые будут иметь место на практике, гиперболу можно без ущерба для точности работы заменять ее асимптотой, т. е. прямой, которая может сколько угодно близко подойти к ветви гиперболы и станет касательной к ней в бесконечно удаленной точке. Эта замена гиперболы асимптотой заключается в том, что мы положение искомой точки находим не в точке пересечения гипербол, а в точке пересечения их асимптот.

Расчеты показывают, что при значительном удалении искомой точки от центров баз такая замена не вызовет необходимости вводить какую-либо поправку в полученный результат.

В тех же случаях, когда определяемая точка лежит на расстоянии, не превышающем 8—10-кратную длину акустических баз, в полученный результат нужно ввести некоторую поправку, расчет которой приведен ниже.

Рассмотрим сначала, как использовать разность расстояний, которую мы обозначили через $2a = V \cdot \tau$, чтобы получить направление асимптоты гиперболы, соответствующей данной разности, в том случае, когда можно считать, что искомая точка лежит на асимптоте.

Вспомним, что разность расстояний любой точки гиперболы до ее фокусов (A и B) есть величина постоянная и равная величине вещественной оси гиперболы (N_1N_2 ,—черт. 10).

Так как мы эту величину обозначили через $2a$, то вещественная полуось равна a .

Обозначим длину акустической базы (фокусное расстояние) через $2c$, тогда полубаза будет равна c .

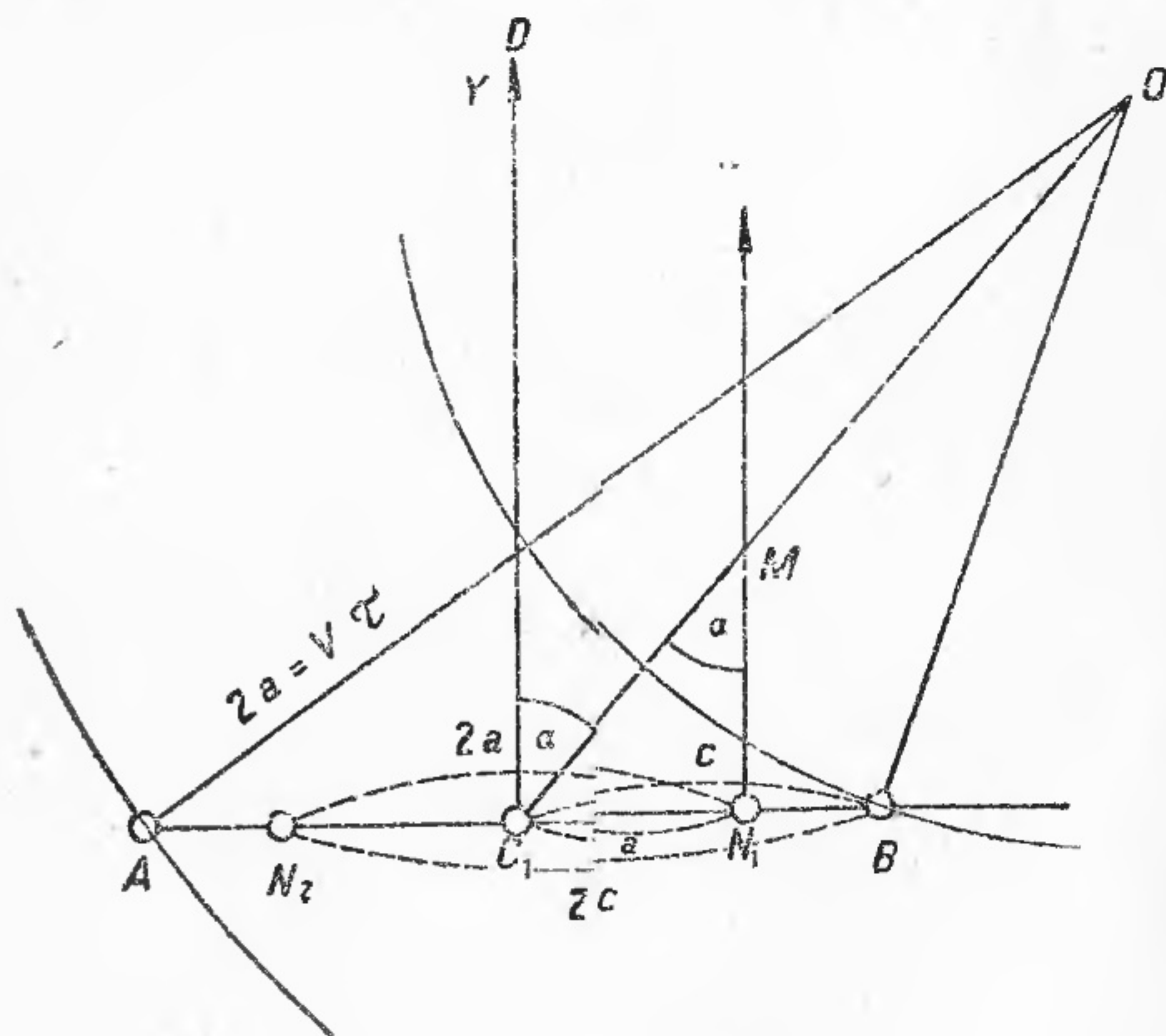
Очевидно направление асимптоты проще всего определить, найдя величину угла α , составленного асимптотой C_1O и перпендикуляром, восстановленным в центре акустической базы. Этот перпендикуляр условимся называть директрисой акустической базы:

Примем (черт. 12) за начало прямоугольных координат центр базы C_1 , за ось иксов—акустическую базу AB , тогда директриса базы C_1D будет осью игреков.

Известно, что уравнение асимптоты в указанной прямоугольной системе координат выражается так¹:

$$y = \frac{\sqrt{c^2 - a^2}}{a} \cdot x \dots \dots \dots (1)$$

где x и y — соответствующие координаты любой точки асимптоты, а c и a — величины, согласно принятых нами



Черт. 12.

обозначений, т. е. c — половина фокусного расстояния (полу-база) и a — вещественная полуось.

Восстановим (черт. 12) из вершины гиперболы N_1 перпендикуляр и продолжим его до пересечения с асимптотой C_1O . Пусть M будет точка пересечения их.

Принимая во внимание, что угол $C_1MN_1 = \alpha$ как накрест лежащие при параллельных MN_1 и C_1D и секущей MC_1 , из получившегося прямоугольного треугольника C_1MN_1 можем написать:

$$\sin C_1MN_1 = \frac{C_1N_1}{C_1M} \text{ или } \sin \alpha = \frac{C_1N_1}{C_1M}$$

¹ Вывод формулы — в приложении I.

или, что то же самое:

$$\sin \alpha = \frac{a}{\kappa} \dots \dots \dots (2)$$

где κ есть гипотенуза C_1M .

Из того же треугольника имеем

$$\kappa^2 = a^2 + MN_1^2 \dots \dots \dots (3)$$

Очевидно, что MN_1 есть ордината точки M в нашей системе координат и a есть ее абсцисса; следовательно формула (1) примет вид:

$$MN_1 = \frac{\sqrt{c^2 - a^2}}{a} \cdot a$$

или, сокращая на a :

$$MN_1 = \sqrt{c^2 - a^2}.$$

Возвышая обе части последнего равенства в квадрат, получим

$$MN_1^2 = c^2 - a^2.$$

Подставив в формулу (3) вместо MN_1^2 , найденное для нее выражение, будем иметь

$$\kappa^2 = a^2 + c^2 - a^2$$

или

$$\kappa^2 = c^2,$$

откуда

$$\kappa = c.$$

Подставив в формулу (2) вместо κ равное ему c , получим:

$$\sin \alpha = \frac{a}{c}.$$

Помножая числителя и знаменателя полученной дроби на 2, окончательно получим:

$$\sin \alpha = \frac{2a}{2c} \dots \dots \dots (4)$$

Как видно из равенства (4) в выражение $\sin \alpha$, определяющее направление асимптоты, другими словами направление на искомую точку от центра базы, входят уже знакомые нам величины: $2a$ — разность расстояний искомой точки до концов акустической базы и $2c$ — величина акустической базы.

Зная величины $2a$ и $2c$, найдем $\sin \alpha$, а по синусу определим и величину угла α .

Дело лишь в том, что величина $2a$ получается выраженной в масштабе времени некоторой разностью времен τ , следовательно, чтобы выразить ее в линейных мерах, нужно было бы каждый отсчет прибора τ умножать на скорость звука V .

Так как величина базы ($2c$) остается постоянной для значительного числа определений, которые можно произвести, используя именно данное расположение на местности, то для сокращения количества производимых вычислений выгоднее величину $2c$ также перевести в масштаб времени. Путь $2c$ равен V , умноженной на некоторое время T , которое необходимо затратить звуку, чтобы пройти этот путь, т. е.

$$2c = V \cdot T,$$

по ранее сделанному определению

$$2a = V \cdot \tau.$$

Подставляя в формулу (4) вместо $2a$ и $2c$ найденные для них значения, получим:

$$\sin \alpha = \frac{V \cdot \tau}{V \cdot T}$$

или, сокращая на V ,

$$\sin \alpha = \frac{\tau}{T} \dots \dots \dots (5)$$

Время, необходимое звуку, чтобы пройти длину акустической базы, равно:

$$T = \frac{2c}{V} \dots \dots \dots (6)$$

так как время равно пути, деленному на скорость движения.

Величину T назовем базой во времени (т. е. длиной базы, выраженной в масштабе времени по отношению к скорости звука).

Раньше чем приступить к работе по определению места нахождения источника звука, нужно подсчитать базу во времени T .

Совершенно очевидно, что величина T зависит от длины базы ($2c$) и от скорости звука V . Зная длину базы ($2c$) и подсчитав скорость звука для данных условий, по формуле (6) можно определить и величину T .

Но так как длина акустических баз, разбитых уже на некотором участке, останется постоянной на все время

данного расположения, а атмосферные условия, а значит и скорость звука и величина T , могут не один раз измениться, то предпочтительнее вычисление T производить иначе.

Приняв $2c$ величиной постоянной, можно рассчитать T_0 , т. е. величину базы во времени при скорости звука $V_0 = 331,5$ м/сек., что соответствует условиям: $t_0 = 0$ и $e = 0$. Таким образом

$$T_0 = \frac{2c}{V_0} = \frac{2c}{331,5}.$$

$T_{t, \frac{e}{n}}$, т. е. база во времени для каждого данного момента, будет отличаться от T_0 на некоторую величину A , которая в свою очередь будет зависеть от значения $V_{t, \frac{e}{n}}$, т. е. в конечном итоге от t^0 и $\frac{e}{n}$.

Как было указано:

$$V_{t, \frac{e}{n}} = V_0 \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{1}{273} t^0}{1 - 0,378 \frac{e}{n}} \cdot \frac{K_2 - 1 + \frac{K_1 - K_2}{K_1} \cdot \frac{e}{n}}{K_2 - 1 + (K_1 - K_2) \frac{e}{n}}}$$

Обозначив для краткости второй сомножитель правой части этого выражения через $A_{t, \frac{e}{n}}$, будем иметь:

$$V_{t, \frac{e}{n}} = V_0 \cdot A_{t, \frac{e}{n}}.$$

Следовательно:

$$T_{t, \frac{e}{n}} = \frac{2c}{V_{t, \frac{e}{n}}} = \frac{2c}{V_0 A_{t, \frac{e}{n}}} = \frac{2c}{V_0} \cdot \frac{1}{A_{t, \frac{e}{n}}},$$

или

$$T_{t, \frac{e}{n}} = T_0 \cdot \frac{1}{A_{t, \frac{e}{n}}};$$

а так как величина $\frac{1}{A_{t, \frac{e}{n}}}$ близка к единице, то удобно выразить ее так:

$$\frac{1}{A_{t, \frac{e}{n}}} = 1 - \frac{A_{t, \frac{e}{n}} - 1}{A_{t, \frac{e}{n}}}.$$

Обозначив

$$\frac{A_{t, \frac{e}{n}} - 1}{A_{t, \frac{e}{n}}} = \mu,$$

¹ См. главу I.

получим:

$$\frac{1}{A_{t, \frac{e}{H}}} = 1 - \mu$$

и

$$T_{t, \frac{e}{H}} = T_0 \cdot (1 - \mu)$$

$$T_{t, \frac{e}{H}} = (1 - \mu) \cdot T_0 \dots \dots \dots (7)$$

или

$$T_{t, \frac{e}{H}} = T_0 - \mu \cdot T_0 \dots \dots \dots (7a)$$

Пользуясь формулой (7) или (7a) и табл. 4, можно легко определить $T_{t, \frac{e}{H}}$ для различных условий.

Пример. $t^0 = +20^0$; $e = 15$ мм; $H = 760$ мм; $T_0 = \frac{320}{331,5} = 0,965$ сек.

Логарифмируем выражение (7): $\log T_{t, \frac{e}{H}} = \log (1 - \mu) + \log T_0$.

Пользуясь табл. 2, отыскиваем $\frac{e}{H}$ для данного момента; оно равно 0,02.

Из таблицы величин μ и $\log (1 - \mu)$ в графе температур находим заданную $+20^0$ и в графе 0,02 в столбце $\log (1 - \mu)$ против цифры 20^0 читаем для данного случая:

$$\lg (1 - \mu) = \bar{1},98\ 348$$

$$\lg T_0 = \log 0,965 = \bar{1},98\ 453$$

$$\lg T_{t, \frac{e}{H}} = \bar{1},98\ 348 + \bar{1},98\ 453 = \bar{1},96\ 801.$$

Отыскивая по логарифму число, получим

$$T_{t, \frac{e}{H}} = 0,929.$$

При изменении t^0 и $\frac{e}{H}$ будет изменяться только $\log (1 - \mu)$, и подсчитывать T_0 не придется до тех пор, пока не изменится длина акустической базы.

Производя расчет координат цели аналитическим путем, пользоваться вычислением $T_{t, \frac{e}{H}}$ по схеме, приведенной в примере, тем более предпочтительно, что, рассчитывая α по формуле $\sin \alpha = \frac{\tau}{T}$ при логарифмировании, нам нужно будет воспользоваться уже подысканным $\log T_{t, \frac{e}{H}}$, так что отпадает отыскивание $T_{t, \frac{e}{H}}$ по его логарифму и вся процедура подсчета скорости звука.

Совершенно очевидно, что, приняв для акустических баз какую-либо определенную и постоянную длину, можно было бы раз навсегда рассчитать таблицу величин $T_{t, \frac{e}{H}}$ для

различных условий. Однако практика службы звукометрических батарей показала, что разнообразие местности заставляет от какой-либо постоянной длины акустической базы отказаться, так как и без того достаточно сложный вопрос выбора места для звукоприемников еще более осложняется, если, выбирая место для базы, будем заранее задаваться ее длиной.

Итак, пользуясь формулой (5) по полученному отсчету на приборе τ и подсчитанной заранее базой во времени $T_{t, \frac{e}{H}}$, не представит особого труда определить угол α , составленный директрисой базы и асимптотой, направление которой и будет направлением на искомую точку от центра базы.

Следует иметь в виду, что вычисление угла α по данным τ и $T_{t, \frac{e}{H}}$ с большим удобством и с малой затратой времени может быть произведено по угловым таблицам, составленным еще для первых станций Бенуа.

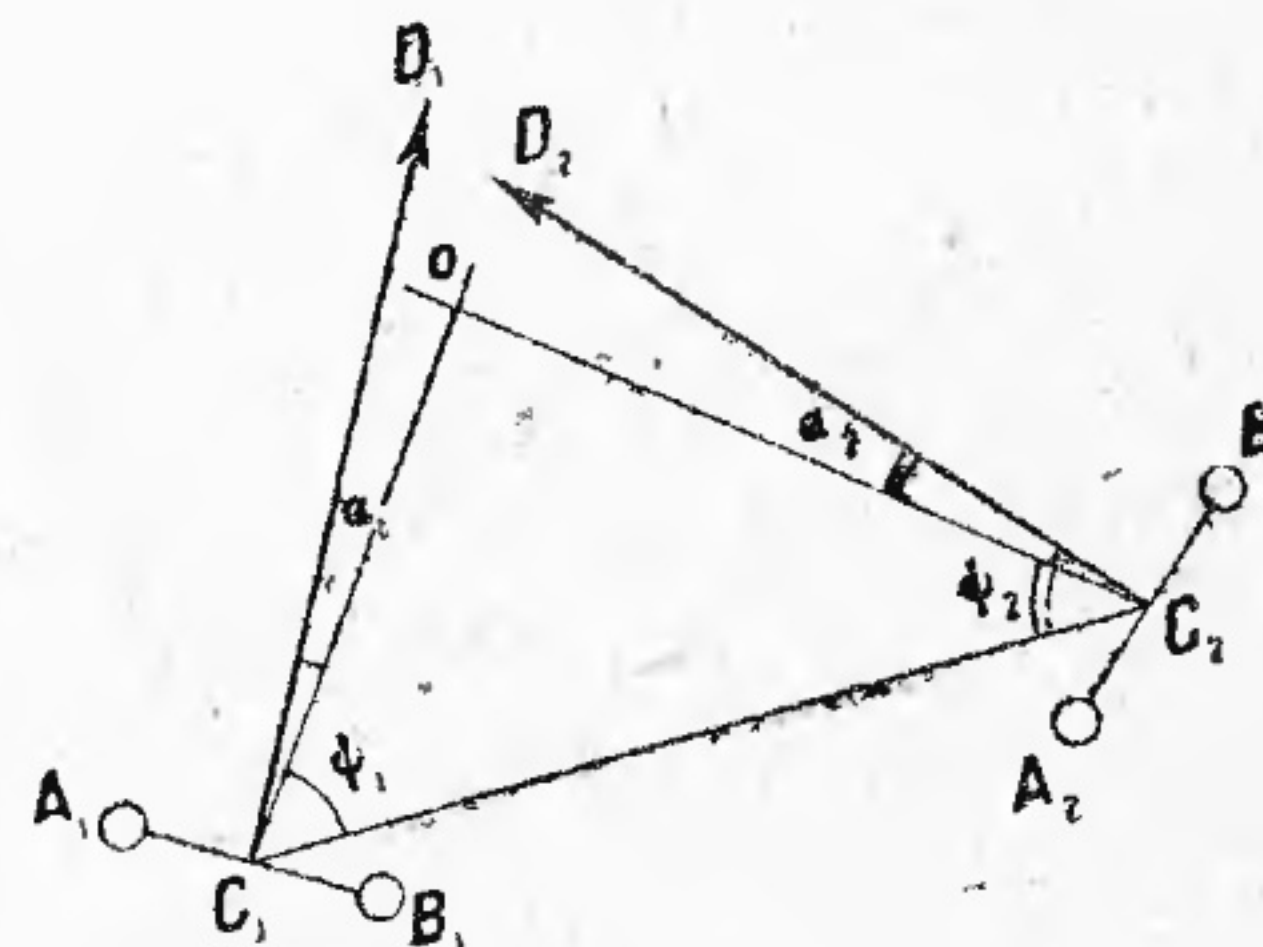
Пусть на базе A_1B_1 (черт. 13), центр которой в точке C_1 и директриса которой C_1D_1 , при некоторой базе во времени T_1 на регистрирующем время приборе получен отсчет τ_1 , а на базе A_2B_2 с центром в C_2 и директрисой C_2D_2 при базе во времени T_2 получен отсчет τ_2 .

Пусть α_1 будет угол, синус которого равен $\frac{\tau_1}{T_1}$, и α_2 — угол, синус которого равен $\frac{\tau_2}{T_2}$.

Показания регистрирующих приборов дали возможность заключить, что на базу A_1B_1 звук пришел справа (правый отсчет), а на базу A_2B_2 — слева (левый отсчет).

Тогда, построив при центрах баз C_1 и C_2 углы α_1 и α_2 , первый — вправо от директрисы C_1D_1 , а второй — влево от директрисы C_2D_2 , получим с обеих баз направления асимптот, т. е. направления на искомую точку, а пересечение асимптот и даст нам положение этой точки (точка O на черт. 13).

Очевидно, что положение точки O может быть получено и путем решения треугольника C_1OC_2 , в котором при раз-



Черт. 13.

бивке акустических баз на местности определяются координаты вершин C_1 и C_2 (черт. 13), т. е. координаты центров баз, и вычисляется сторона C_1C_2 , так называемая *геодезическая база*.

Величины углов ψ_1 и ψ_2 легко определить, зная азимуты директрис — углы α_1 и α_2 — и азимут геодезической базы. Следовательно треугольник решится по стороне и двум углам. Об аналитическом методе расчета координат цели будет сказано подробнее в главе III.

Выводом из изложенного выше является положение, что для того, чтобы иметь определенное суждение о положении искомой точки, необходимо и достаточно иметь 2 акустические базы, координаты центров и азимуты директрис которых известны.

Следует однако заметить, что обычно принято работать минимум на 3 базах.

Наличие 3-й базы позволяет до некоторой степени судить о той точности, с которой проделано определение искомой точки.

В самом деле: асимптота 3-й базы как общее правило пересечет асимптоты двух других не в точке их пересечения, так что от пересечения 3 направлений мы получим не точку, а треугольник $O_1O_2O_3$ (черт. 14), который носит название *треугольника погрешностей*, так как причиной его образования служат все те случайные ошибки, которые имели место в процессе производства измерительных работ как подготовительных (например разбивка баз и определение их центров и направления директрис), так и допущенных за счет естественного разброса регистрирующих приборов; сюда же следует отнести и ошибки, происходящие от недостаточно тщательного учета метеорологических и физических элементов, сопровождающих работу.

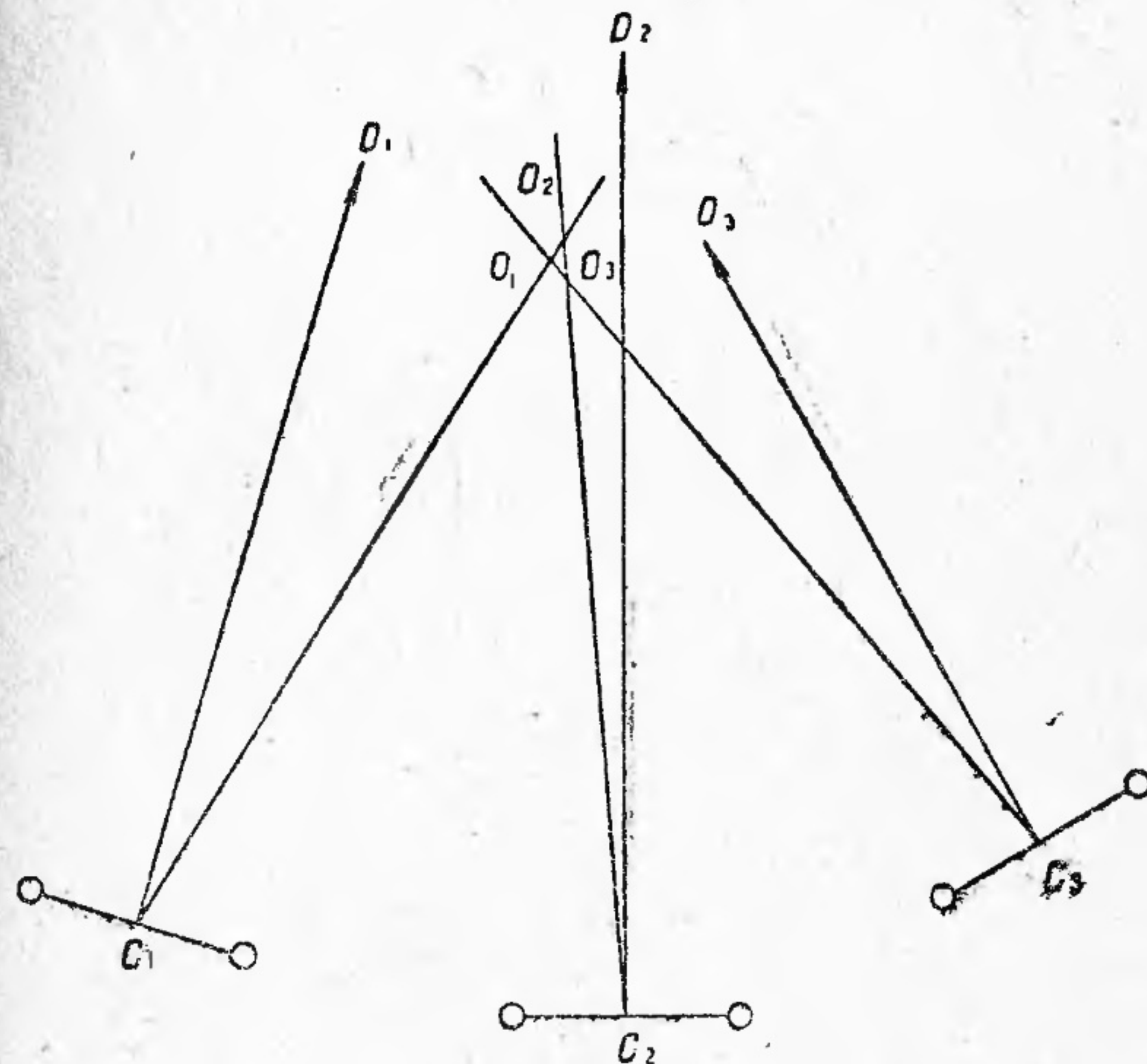
Если бы все измерения можно было произвести абсолютно точно, то очевидно все 3 асимптоты пересеклись бы в одной точке и мы имели бы полное основание считать сделанное определение искомой точки абсолютно точным.

Естественно, что чем меньше будет допущено нами ошибок, тем площадь треугольника погрешностей будет меньше.

Таким образом направление на искомую точку от 3-й базы, образующее треугольник погрешностей, и дает возможность по величине площади этого треугольника судить о точности, с которой получен окончательный результат.

При наличии треугольника погрешностей наиболее вероятное положение искомой точки находится в центре вписанного в этот треугольник круга.

Из всего сказанного следует, что применение в акустической разведке метода разности времен в окончательном результате приводит к *засечке* искомой точки с 2 или 3 известных.



Черт. 14.

Это обстоятельство заставляет заботиться о том, чтобы угол при засекаемой точке был не очень мал; наименьшая величина этого угла принимается в пределах от 30° до 150° ($150^\circ > C_1OC_2 > 30^\circ$).

ПОПРАВКА НА ДИСТАНЦИЮ.

При выводе формулы

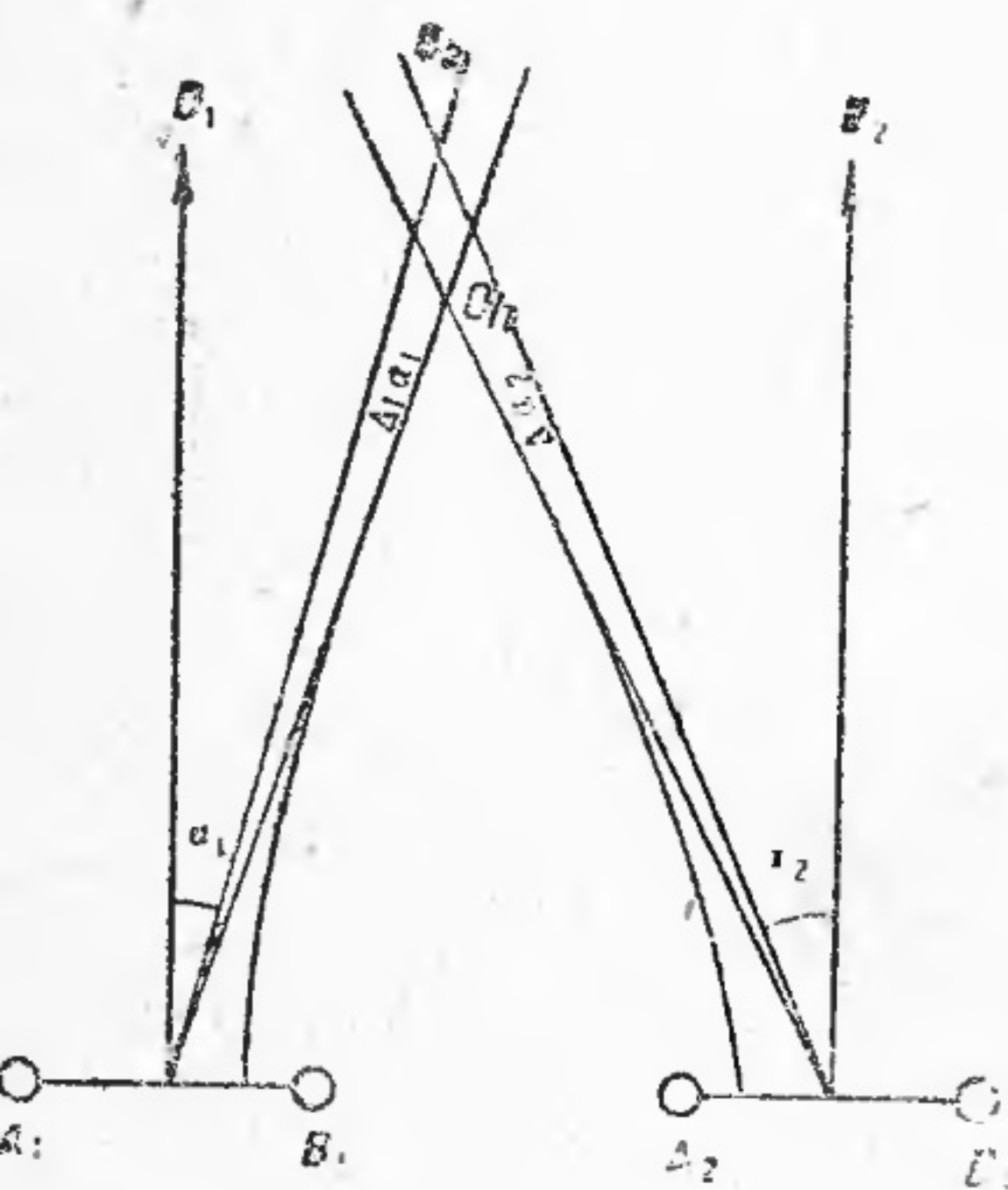
$$\sin \alpha = \frac{r}{T}$$

было указано, что эта формула для определения направления на искомую точку справедлива лишь тогда, когда

можно предположить, что цель лежит и на асимптоте и на гиперболе одновременно, т. е. при весьма значительном удалении искомой точки от центра базы.

В тех же случаях, когда удаление искомой точки незначительно, пользуясь указанной формулой, мы в полученное направление на цель неизбежно внесем ошибку.

В самом деле: пусть точка O_h (черт. 15) есть пересечение гипербол, соответствующих разностям времен τ_1 и τ_2 .



Черт. 15.

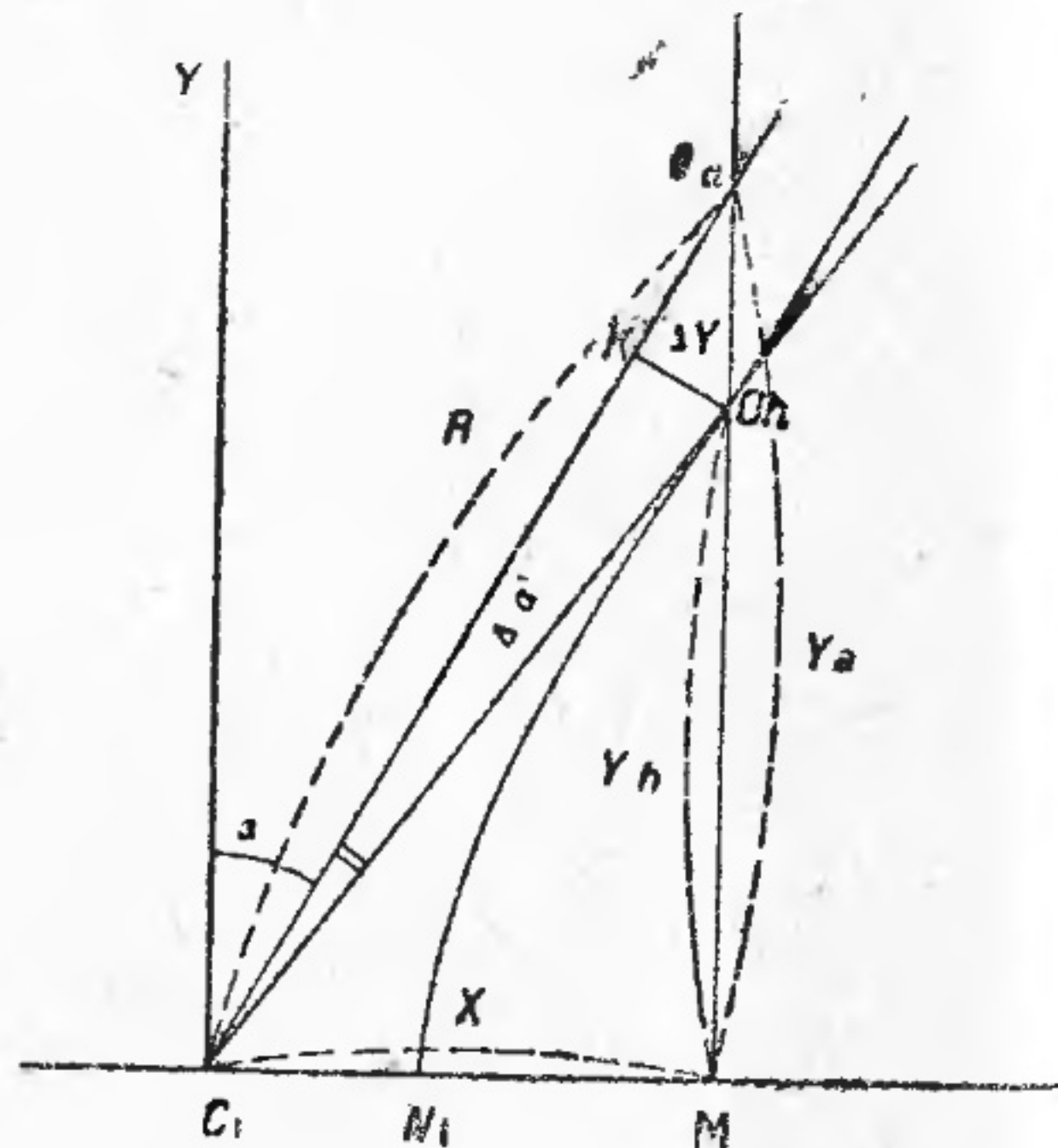
полученных на базах A_1, B_1 и A_2, B_2 , и точка O_a — пересечение асимптот, направление которых определено по формулам:

$$\sin \alpha_1 = \frac{\tau_1}{T_1} \text{ и } \sin \alpha_2 = \frac{\tau_2}{T_2}.$$

Из чертежа видно, что асимптоты $C_1 O_a$ и $C_2 O_a$ не дают истинного направления на цель, и точка O_a не соответствует истинному положению цели.

Чтобы получить истинное направление на искомую точку, нужно в полученные на базах углы α_1 и α_2 ввести поправки, соответствующие величинам $\Delta_1 \alpha_1$ и $\Delta_1 \alpha_2$.

Совершенно очевидно, что величина углов $\Delta_1 \alpha_1$ и $\Delta_1 \alpha_2$ будет тем больше, чем ближе к центру базы лежит искомая точка.



Черт. 16.

Вычисление поправки $\Delta_1 \alpha$ производится по формуле:

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{1}{4\eta^2}}}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \alpha \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{4\eta^2}}} \quad \dots \quad (17)$$

где η есть дистанция до цели, выраженная в базах, т. е.

$$\eta = \frac{C_1 O_a}{2C}$$

(черт. 16).

Для вывода формулы вычисления поправки $\Delta_1 \alpha$ возьмем точки O_h и O_a (черт. 16), из которых первая лежит на пересечении гипербол (фактическое положение цели), а вторая — на пересечении их асимптот (приближенное положение цели).

Если обе акустические базы лежат на одной прямой, то точки O_a и O_h имеют общую абсциссу X ; тогда ординаты их Y_a и Y_h разнятся друг от друга на величину $O_a O_h = \Delta y$; т. е.

$$\Delta y = Y_a - Y_h.$$

При ином положении баз относительно друг друга абсциссы точек O_a и O_h разнятся на некоторую величину, но для вывода формулы $\Delta_1 \alpha$ их можно принять равными, ввиду значительного удаления точек O_a и O_h от центров баз и незначительности самой поправки.

Из аналитической геометрии известно, что уравнение гиперболы в прямоугольной системе координат имеет такой вид¹:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{Y_h^2}{c^2 - a^2} = 1,$$

где a и c — известные нам величины.

Приведем это уравнение к общему знаменателю:

$$\frac{x^2 (c^2 - a^2)}{a^2 (c^2 - a^2)} - \frac{Y_h^2 \cdot a^2}{a^2 (c^2 - a^2)} = \frac{a^2 (c^2 - a^2)}{a^2 (c^2 - a^2)}.$$

Отбрасывая знаменатель, получим

$$x^2 (c^2 - a^2) - Y_h^2 \cdot a^2 = a^2 (c^2 - a^2).$$

Решим последнее уравнение относительно Y_h , для чего перенесем $x^2 (c^2 - a^2)$ в правую часть и помножим обе части уравнения на -1 ; тогда получим

$$Y_h^2 a^2 = x^2 (c^2 - a^2) - a^2 (c^2 - a^2).$$

или

$$Y_h^2 \cdot a^2 = (c^2 - a^2) \cdot (x^2 - a^2),$$

откуда

$$Y_h^2 = \frac{(c^2 - a^2) \cdot (x^2 - a^2)}{a^2}$$

¹ Вывод этого уравнения — в приложении 1.

и

$$Y_h = \sqrt{\frac{(c^2 - a^2) \cdot (x^2 - a^2)}{a^2}}$$

или

$$Y_h = \frac{\sqrt{(c^2 - a^2)} \cdot \sqrt{x^2 - a^2}}{a} \dots \dots \dots (8)$$

С другой стороны уравнение асимптоты таково:

$$Y_a = \frac{\sqrt{(c^2 - a^2)}}{a} \cdot x \dots \dots \dots (9)$$

Вычитая почленно из уравнения (9) уравнение (8), получим

$$Y_a - Y_h = \frac{(\sqrt{c^2 - a^2}) \cdot x}{a} - \frac{\sqrt{c^2 - a^2} \cdot \sqrt{x^2 - a^2}}{a};$$

или согласно принятых обозначений

$$\Delta y = \frac{x \cdot \sqrt{c^2 - a^2} - \sqrt{c^2 - a^2} \cdot \sqrt{x^2 - a^2}}{a}.$$

Возьмем в числителе дроби $\sqrt{c^2 - a^2}$ за скобку, тогда получим

$$\Delta y = \frac{\sqrt{c^2 - a^2} \cdot (x - \sqrt{x^2 - a^2})}{a} = \frac{(x - \sqrt{x^2 - a^2}) \cdot \sqrt{c^2 - a^2}}{a} \dots \dots (10)$$

так как катет x (черт. 16) равен гипотенузе CO_a , умноженной на $\sin \alpha$ (углы α и CO_aM равны как и крест лежащие при параллельных C_1Y и MO_a и секущей CO_a), т. е.

$$x = C_1O_a \cdot \sin \alpha,$$

или, обозначая

$$C_1O_a = R,$$

можно написать

$$x = R \cdot \sin \alpha.$$

Пользуясь введенным ранее выражением:

$$\sin \alpha = \frac{2a}{2c} = \frac{a}{c}$$

и подставляя в предыдущее равенство вместо $\sin \alpha$ его значение, получим

$$x = R \cdot \frac{a}{c} \dots \dots \dots (11)$$

Подставив теперь в уравнение (10) вместо x его значение из равенства (11), имеем

$$\Delta y = \frac{\left(\frac{R \cdot a}{c} - \sqrt{R^2 \cdot \frac{a^2}{c^2} - a^2} \right) \cdot \sqrt{c^2 - a^2}}{a}.$$

Преобразуем сомножителя, заключенного в скобки, приведя двухчлен подкоренного количества к общему знаменателю:

$$\Delta y = \frac{\left(\frac{R \cdot a}{c} - \sqrt{\frac{R^2 \cdot a^2 - a^2 \cdot c^2}{c^2}} \right) \cdot \sqrt{c^2 - a^2}}{a}.$$

Вынесем в том же двухчлене a^2 за скобки:

$$\Delta y = \frac{\left[\frac{R \cdot a}{c} - \sqrt{\frac{a^2 (R^2 - c^2)}{c^2}} \right] \cdot \sqrt{c^2 - a^2}}{a}.$$

Вынесем a из-под знака радикала:

$$\Delta y = \frac{\left[\frac{R \cdot a}{c} - a \sqrt{\frac{R^2 - c^2}{c^2}} \right] \cdot \sqrt{c^2 - a^2}}{a}.$$

Вынесем a за скобку и представим подкоренное количество в виде двухчлена:

$$\Delta y = \frac{a \left[\frac{R}{c} - \sqrt{\frac{R^2}{c^2} - \frac{c^2}{c^2}} \right] \cdot \sqrt{c^2 - a^2}}{a}.$$

Сокращая на a и принимая во внимание, что

$$\frac{c^2}{c^2} = 1,$$

получим

$$\Delta y = \left[\frac{R}{c} - \sqrt{\left(\frac{R}{c} \right)^2 - 1} \right] \cdot \sqrt{c^2 - a^2}$$

или

$$\Delta y = \sqrt{c^2 - a^2} \left[\frac{R}{c} - \sqrt{\left(\frac{R}{c} \right)^2 - 1} \right] \dots \dots \dots (12)$$

Напишем теперь выражение $\cos \alpha$ из треугольника CO_aM :

$$\cos \alpha = \frac{Y_a}{R}$$

или, подставляя вместо Y_a его значение из формулы (9):

$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{c^2 - a^2}}{a \cdot R} \cdot x;$$

заменим в последнем равенстве x его выражением из формулы (11):

$$\cos \alpha = \frac{(\sqrt{c^2 - a^2}) \cdot R \cdot a}{a \cdot R \cdot c}$$

Произведя очевидные сокращения, получим

$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{c^2 - a^2}}{c},$$

откуда

$$\sqrt{c^2 - a^2} = c \cdot \cos \alpha.$$

Подставим теперь вместо $\sqrt{c^2 - a^2}$ в формулу (12) равное ему $c \cdot \cos \alpha$, тогда формула (12) примет вид:

$$\Delta y = c \cdot \cos \alpha \cdot \left[\frac{R}{c} - \sqrt{\left(\frac{R}{c}\right)^2 - 1} \right].$$

Перепишем последнее уравнение так:

$$\Delta y = c \left[\frac{R}{c} - \sqrt{\left(\frac{R}{c}\right)^2 - 1} \right] \cdot \cos \alpha \quad \dots \dots \dots (13)$$

Построив OK , перпендикулярную CO_a , определим величину $O_h K$ (катета) из треугольника $KO_o O_h$; очевидно

$$O_h K = O_h O_a \cdot \sin \alpha$$

или

$$O_h K = \Delta y \cdot \sin \alpha.$$

Вместо Δy подставим найденное для нее выражение из формулы (13), тогда:

$$O_h K = c \cdot \left[\frac{R}{c} - \sqrt{\left(\frac{R}{c}\right)^2 - 1} \right] \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha.$$

Из тригонометрии известно, что

$$2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha = \sin 2 \alpha,$$

откуда

$$\sin \alpha \cdot \cos \alpha = \frac{\sin 2 \alpha}{2} = \frac{1}{2} \cdot \sin 2 \alpha$$

и

$$O_h K = \frac{1}{2} c \left[\frac{R}{c} - \sqrt{\left(\frac{R}{c}\right)^2 - 1} \right] \cdot \sin 2 \alpha \quad \dots \dots \dots (14)$$

Из того же треугольника найдем и $O_a K$. В самом деле:

$$O_a K = O_h O_a \cdot \cos \alpha$$

или

$$O_a K = \Delta y \cdot \cos \alpha.$$

Подставляя в последнее равенство вместо Δy его значение из формулы (13), получим

$$O_a K = c \cdot \left[\frac{R}{c} - \sqrt{\left(\frac{R}{c}\right)^2 - 1} \right] \cdot \cos^2 \alpha \quad \dots \dots \dots (15)$$

Тангенс интересующего нас угла $\Delta_1 \alpha$ напишется из треугольника SKO_h

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{O_h K}{CK}$$

или

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{O_h K}{C_1 O_a - O_a K}.$$

Подставляя вместо $O_h K$ и $O_a K$ найденные для них значения из формулы (14) и (15) и приняв обозначение $C_1 O_a = R$, получим

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{\frac{1}{2} c \left[\frac{R}{c} - \sqrt{\left(\frac{R}{c}\right)^2 - 1} \right] \cdot \sin 2 \alpha}{R - c \left[\frac{R}{c} - \sqrt{\left(\frac{R}{c}\right)^2 - 1} \right] \cdot \cos^2 \alpha}.$$

Переобразуем подкоренные количества в числителе и знаменателе дроби следующим образом:

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{\frac{1}{2} c \left[\frac{R}{c} - \sqrt{\left(\frac{R}{c}\right)^2 - \left(\frac{R}{c}\right)^2} \right] \cdot \sin 2 \alpha}{R - c \left[\frac{R}{c} - \sqrt{\left(\frac{R}{c}\right)^2 - \left(\frac{R}{c}\right)^2} \right] \cdot \cos^2 \alpha}.$$

Приведем подкоренные количества к общему знаменателю:

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{\frac{1}{2} c \left[\frac{R}{c} - \sqrt{\frac{\left(\frac{R}{c}\right)^2 \cdot \left(\frac{R}{c}\right)^2 - \left(\frac{R}{c}\right)^2}{\left(\frac{R}{c}\right)^2}} \right] \cdot \sin 2 \alpha}{R - c \left[\frac{R}{c} - \sqrt{\frac{\left(\frac{R}{c}\right)^2 \cdot \left(\frac{R}{c}\right)^2 - \left(\frac{R}{c}\right)^2}{\left(\frac{R}{c}\right)^2}} \right] \cdot \cos^2 \alpha}.$$

Вынесем в числителях подкоренных количеств $\left(\frac{R}{c}\right)^2$ за скобку:

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{\frac{1}{2} c \left[\frac{R}{c} - \sqrt{\frac{\left(\frac{R}{c}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{R}{c}\right)^2 - 1\right]}{\left(\frac{R}{c}\right)^2}} \right] \cdot \sin 2 \alpha}{R - c \left[\frac{R}{c} - \sqrt{\frac{\left(\frac{R}{c}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{R}{c}\right)^2 - 1\right]}{\left(\frac{R}{c}\right)^2}} \right] \cdot \cos^2 \alpha}.$$

Вынесем в числитель и знаменателе дроби $\left(\frac{R}{c}\right)$ из-под знака радикала:

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{\frac{1}{2} c \left[\frac{R}{c} - \frac{R}{c} \sqrt{1 - \left(\frac{R}{c}\right)^2} \right] \cdot \sin 2\alpha}{R - c \left[\frac{R}{c} - \frac{R}{c} \sqrt{1 - \left(\frac{R}{c}\right)^2} \right] \cdot \cos^2 \alpha}.$$

Помножая на c количества, заключенные в скобки, получим

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{\frac{1}{2} \left[R - R \sqrt{1 - \left(\frac{R}{c}\right)^2} \right] \cdot \sin 2\alpha}{R - \left[R - R \sqrt{1 - \left(\frac{R}{c}\right)^2} \right] \cdot \cos^2 \alpha}.$$

Вынесем в числитель и знаменателе R за скобки:

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{\frac{1}{2} R \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{R}{c}\right)^2} \right] \cdot \sin 2\alpha}{R - R \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{R}{c}\right)^2} \right] \cdot \cos^2 \alpha}$$

или

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{\frac{1}{2} R \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{R}{c}\right)^2} \right] \cdot \sin 2\alpha}{R \left[1 - \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{R}{c}\right)^2} \right] \cdot \cos^2 \alpha \right]}.$$

Проведя сокращение на R , получим

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{\frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{R}{c}\right)^2} \right] \cdot \sin 2\alpha}{1 - \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{R}{c}\right)^2} \right] \cdot \cos^2 \alpha}.$$

Раскроем скобки в знаменателе:

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{\frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{R}{c}\right)^2} \right] \cdot \sin 2\alpha}{1 - \cos^2 \alpha + \cos^2 \alpha \sqrt{1 - \left(\frac{R}{c}\right)^2}}.$$

Из тригонометрии известно, что

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1,$$

откуда

$$\sin^2 \alpha = 1 - \cos^2 \alpha.$$

Поставив в последнюю формулу вместо $1 - \cos^2 \alpha$ равное ему $\sin^2 \alpha$, получим

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{\frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{R}{c}\right)^2} \right] \cdot \sin 2\alpha}{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \sqrt{1 - \left(\frac{R}{c}\right)^2}} \dots \dots \dots (16)$$

Величина R — расстояние от центра базы до точки Oa , т. е. точки пересечения асимптот, — может быть выражена через длину базы, которую мы условились обозначать $2c$. Пусть η будет величина, которая показывает, сколько раз база содержится в R , т. е.

$$\frac{R}{2c} = \eta;$$

тогда

$$\frac{R}{c} = 2\eta.$$

Подставив в формулу (16) вместо $\frac{R}{c}$ равную величину 2η , имеем

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{\frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{1}{4\eta^2}} \right] \cdot \sin 2\alpha}{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \sqrt{1 - \frac{1}{4\eta^2}}}.$$

Из тригонометрии известно, что

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha;$$

тогда

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{\frac{1}{2} \cdot 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{1}{4\eta^2}} \right]}{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{4\eta^2}}} \quad \text{и}$$

после сокращения

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{\sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{1}{4\eta^2}} \right]}{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{4\eta^2}}}.$$

Разделив числителя и знаменателя дроби на $(\sin \alpha \cdot \cos \alpha)$, получим

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{1}{4\eta^2}}}{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{4\eta^2}}} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

или

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{1}{4\eta^2}}}{\frac{\sin^2 \alpha}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} + \frac{\cos^2 \alpha \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{4\eta^2}}}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha}}.$$

Произведя в знаменателе дроби очевидные сокращения, получим

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{1}{4\eta^2}}}{\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} + \frac{\cos \alpha \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{4\eta^2}}}{\sin \alpha}},$$

а так как

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha \quad \text{и} \quad \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = \operatorname{ctg} \alpha,$$

то окончательно имеем

$$\operatorname{tg} \Delta_1 \alpha = \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{1}{4\eta^2}}}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \alpha \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{4\eta^2}}} \dots \dots \dots (17)$$

Пользуясь формулой (17) для поправки $\Delta_1 \alpha$, которую нужно ввести в вычисленный угол α , и задаваясь различ-

ными η , оказалось возможным подсчитать заранее поправку $\Delta_1 \alpha$ для различных углов α и полученные данные свести в таблицу.

Эта таблица, рассчитанная Б. Г. Позоевым¹, приведена нами в приложении 2 (табл. 5).

Так как гипербола лежит внутри своих асимптот, то во всех случаях, т. е. и при правых и при левых углах α , поправку $\Delta_1 \alpha$ следует прибавлять к абсолютной величине угла.

ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКОВЫХ ВОЛН.

И в главе I, где было сказано о скорости распространения звуковых волн, и в настоящей главе, выводя формулу определения угла на искомую точку от директрисы акустической базы, мы вели наши рассуждения в предположении совершенного отсутствия ветра.

Рассмотрим теперь, какое же влияние оказывает ветер на распространение звуковых волн, в чем именно это влияние выражается и как следует его учитывать, чтобы избежать погрешностей в определении положения звучащей цели.

Будем считать, что ветер в течение некоторого промежутка времени сохраняет свою силу и направление постоянными и что направление ветра горизонтально.

К настоящему моменту у нас нет достаточных сведений о том, какое влияние оказывает ветер верхних слоев атмосферы на условия распространения той части звуковой волны, которая непосредственно соприкасается с поверхностью земли, почему в условиях решаемой нами задачи мы и будем учитывать только наземный ветер.

Представим себе, что в атмосферном слое, который относительно поверхности земли перемещается в направлении и со скоростью ветра условия для распространения звуковой волны остаются те же, что и в случае неподвижного атмосферного слоя, т. е. в случае перемещения атмосферы относительно поверхности земли под влиянием ветра, в самой атмосфере скорость звуковой волны зависит только от температуры, влажности и давления. Тогда движение звуковой волны относительно поверхности земли представится нам как геометрическая сумма: 1) движения волны вместе со всем слоем атмосферы, которое будет совершаться в направлении ветра и с его скоростью; 2) движе-

¹ Б. Г. Позоев. Основы звукометрии, вып. I, ч. I.

ния звуковой волны в слое атмосферы; скорость этого движения не зависит от ветра.

Обозначим скорость распространения звука в атмосфере через V , скорость движения самого слоя, равную скорости ветра, через W и скорость движения звуковой волны относительно поверхности земли через V_a .

Так как звук распространяется в атмосфере по всем направлениям совершенно одинаково, то направление V , которое мы условимся называть акустическим лучом, может занять относительно направления W любое положение в зависимости от того, какой акустический луч мы выберем для наблюдений.

Следовательно, если мы выберем акустический луч определенного направления, составляющий с данным направлением ветра угол φ , то для V_a получим единственное совершенно определенное значение как по величине, так и по направлению. Направление V_a определяется величиной угла γ , составленного этим направлением с направлением ветра, а именно:

$$\operatorname{ctg} \gamma = \frac{W}{V \cdot \sin \varphi} + \operatorname{ctg} \varphi \quad \dots \quad (19)$$

$$\text{Величина же } V_a = V \cos \omega + W \cos \gamma \quad \dots \quad (21)$$

Для определения угла γ рассмотрим треугольник $O_1 A_1 O$ (черт. 17).

$A_1 O_1 = OA = V$ как противоположные стороны параллелограмма.

Из тригонометрии известно, что во всяком треугольнике стороны пропорциональны синусам противолежащих углов; следовательно из треугольника $O_1 O A$ можно написать:

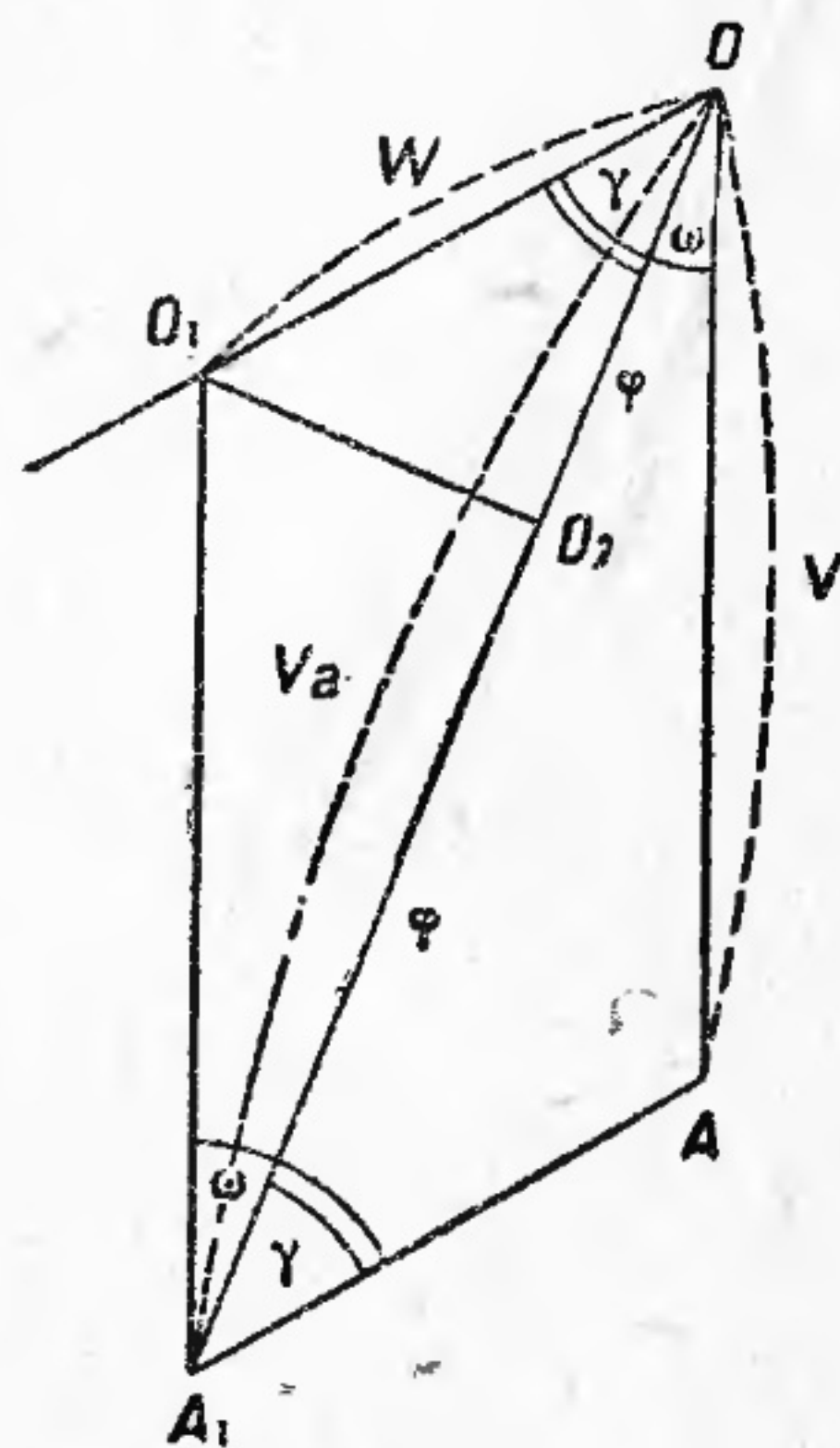
$$\frac{W}{V} = \frac{\sin \omega}{\sin \gamma} \quad \dots \quad (18)$$

кроме того из черт. 17 видно, что

$$\omega = \varphi - \gamma;$$

поэтому, подставив в формулу (18) вместо ω равное ему $(\varphi - \gamma)$, получим

$$\frac{W}{V} = \frac{\sin (\varphi - \gamma)}{\sin \gamma},$$



Черт. 17.

и так как

$$\sin (\varphi - \gamma) = \sin \varphi \cdot \cos \gamma - \cos \varphi \cdot \sin \gamma,$$

то, подставляя, имеем

$$\frac{W}{V} = \frac{\sin \varphi \cdot \cos \gamma - \cos \varphi \cdot \sin \gamma}{\sin \gamma}$$

или

$$\frac{W}{V} = \sin \varphi \frac{\cos \gamma}{\sin \gamma} - \frac{\cos \varphi \cdot \sin \gamma}{\sin \gamma}.$$

Сокращая второй член правой части на $\sin \gamma$ и принимая во внимание, что

$$\frac{\cos \gamma}{\sin \gamma} = \operatorname{ctg} \gamma,$$

получим

$$\frac{W}{V} = \sin \varphi \cdot \operatorname{ctg} \gamma - \cos \varphi.$$

Решим последнее уравнение относительно $\operatorname{ctg} \gamma$:

$$\frac{W}{V} + \cos \varphi = \sin \varphi \cdot \operatorname{ctg} \gamma$$

или

$$\frac{\frac{W}{V} + \cos \varphi}{\sin \varphi} = \operatorname{ctg} \gamma,$$

откуда

$$\frac{W}{V \cdot \sin \varphi} + \frac{\cos \varphi}{\sin \varphi} = \operatorname{ctg} \gamma,$$

а так как

$$\frac{\cos \varphi}{\sin \varphi} = \operatorname{ctg} \varphi,$$

то

$$\frac{W}{V \cdot \sin \varphi} + \operatorname{ctg} \varphi = \operatorname{ctg} \gamma,$$

и окончательно

$$\operatorname{ctg} \gamma = \frac{W}{V \cdot \sin \varphi} + \operatorname{ctg} \varphi \quad \dots \quad (19)$$

Для определения величины V_a опустим из точки O_1 перпендикуляр на $A_1 O$.

Из черт. 17 видно, что

$$V_a = A_1 O = A_1 O_2 + O_2 O \quad \dots \quad (20)$$

Из треугольника $A_1 O_1 O_2$:

$$A_1 O_2 = V \cdot \cos \omega.$$

Из треугольника $O O_1 O_2$:

$$O_2 O = W \cos \gamma.$$

Подставляя в выражение (20) вместо $A_1 O$ и $O O_2$ найденные для них величины, получим

$$V_a = V \cdot \cos \omega + W \cdot \cos \gamma \quad \dots \quad (21)$$

Угол ω определится из равенства:

$$\varphi = \omega + \gamma;$$

$$\omega = \varphi - \gamma.$$

Формулы (19) и (21) определяют направление и скорость абсолютного движения звуковой волны в том случае, если известна величина угла φ , составленного акустическим лучом и направлением ветра.

Исследование формулы (21) показывает, что скорость V_a будет увеличиваться с возрастанием W и V и с уменьшением угла φ . Наибольшее значение V_a при данных V и W будем иметь, когда $\cos \omega = \cos \gamma = 1$, т. е. когда угол φ , а следовательно и углы ω и γ равны нулю, тогда формула (21) примет вид:

$$V_a = V + W.$$

Таким образом, если звуковая волна движется из точки O_0 (черт. 18), то в момент прибытия к звукоприемнику B центр ее при наличии ветра не будет уже находиться в точке O_0 , а будет снесен в направлении ветра, и положение его в этот момент будет в точке O_1 .

Что касается скорости звуковой волны, то она уже будет равна не $V_{\frac{e}{n}}$, а V_a , величина которой определится из формулы (21).

В тот момент, когда звуковая волна дойдет до звукоприемника A , ее центр будет уже и не в точке O_1 , а в точке O_2 , куда его снесет ветер в течение промежутка времени, пока волна шла от точки B до точки A .

Следовательно отсчеты регистрирующего время прибора при наличии ветра не дадут истинного направления на искомую точку, и очевидно в полученный результат определения мы должны будем ввести поправки.

Поправка на влияние ветра складывается из двух частей: 1) поправки на изменение скорости звуковой волны от влияния ветра и 2) поправки на перемещение звукового центра в том направлении, куда дует ветер.

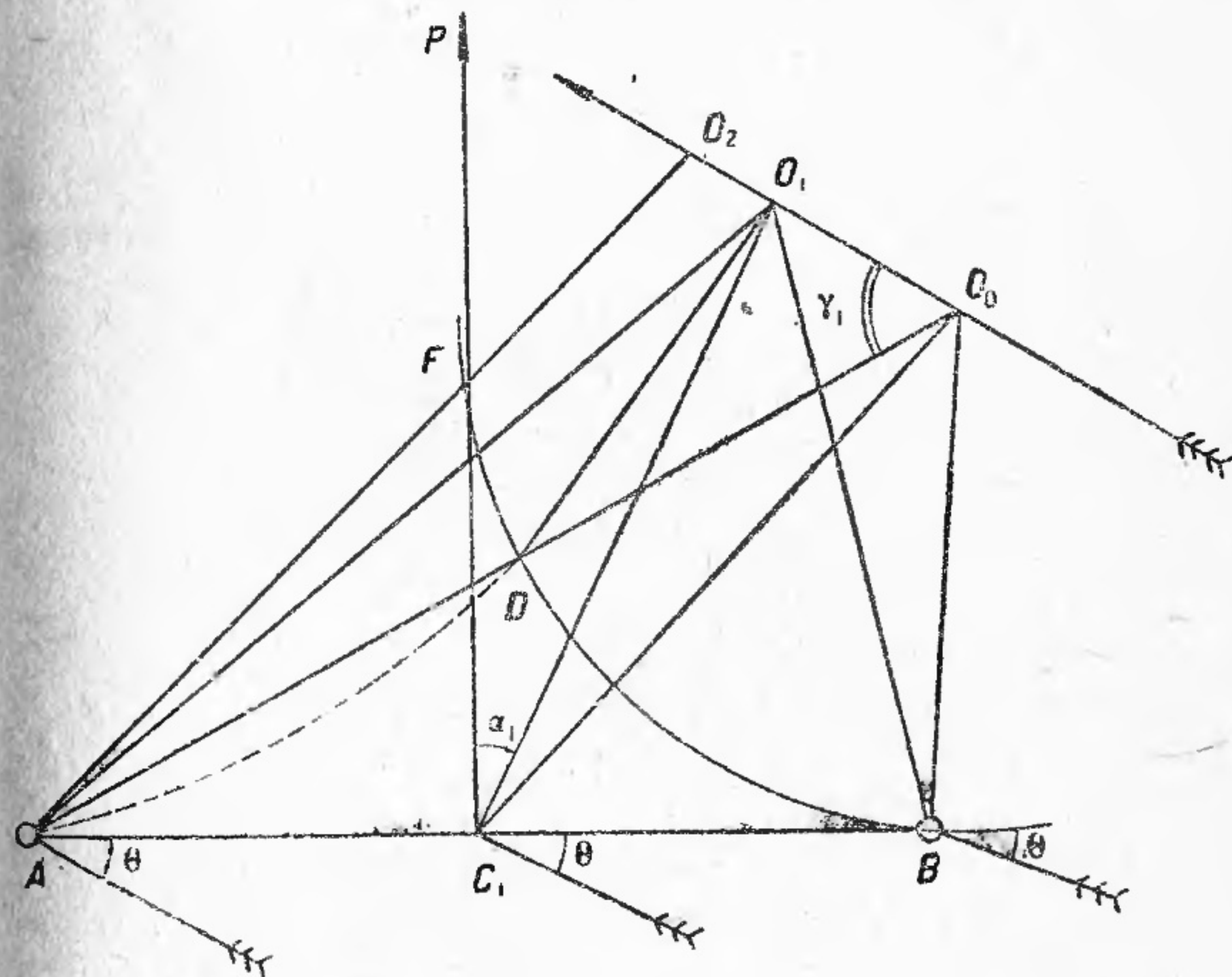
Пусть AB (черт. 18)—акустическая база с центром в точке C_1 и директрисой C_1P ; O_0O_2 —направление ветра, составляющего с акустической базой угол θ ; O_0 —положение искомой точки; O_1 и O_2 —центры звуковой волны в моменты прибытия ее в точки B и A ; точка D —положение звуковой волны на направлении O_0A в тот момент, когда волна проходит пункт B ; F —точка пересечения линии O_2A и окружности BDF (фронта звуковой волны); τ —отсчет, полученный на приборе, т. е. то время, которое звук затратил, чтобы, распространяясь по акустическому лучу AQ_0 , пройти расстояние AD , двигаясь со скоростью V_a .

Скорость V_a определится, как известно, из формулы (21):

$$V_a = V \cdot \cos \omega + W \cdot \cos \gamma,$$

где угол ω может быть вычислен по формуле (18):

$$\frac{W}{V} = \frac{\sin \omega}{\sin \gamma_1}.$$



Черт. 18.

$$\sin \omega = \frac{W}{V} \cdot \sin \gamma_1.$$

Угол α_1 , т. е. направление асимптоты для положения центра звуковой волны в точке O_1 , может быть определен в том случае, если будет известна, разность расстояний AF .

Вычисления показывают, что величина AF от AD отличается на пренебрежимо-малую величину. Это следует из того, что при сравнительно малой скорости ветра по отношению к скорости звука положение смещенного звукового центра O_1 отличается от истинного O_0 на сравнительно небольшую величину и угол O_0AO_1 достаточно острый.

Так как регистрирующий время прибор показал нам некоторую разность времен τ , то разность расстояний

$$AD = \tau \cdot V_a$$

или, подставляя вместо V_a значение его из формулы (21):

$$AD = \tau \cdot (V \cdot \cos \omega + W \cdot \cos \gamma_1) \dots \dots \dots (22)$$

Следовательно, если принять $AF = AD$, то

$$\sin \alpha_1 = \frac{AF}{AB} = \frac{AD}{AB} \dots \dots \dots (23)$$

и так как величина $AB = V \cdot T$, то, подставляя в формулу (23) вместо $AB = V \cdot T$, а вместо AD выражение из формулы (22), получим

$$\sin \alpha_1 = \frac{\tau(V \cdot \cos \omega + W \cdot \cos \gamma_1)}{V \cdot T}.$$

Преобразуем числителя дроби, помножая и деля 2-й член заключенной в скобки суммы на V :

$$\sin \alpha_1 = \frac{\tau \left(V \cdot \cos \omega + \frac{V \cdot W \cdot \cos \gamma_1}{V} \right)}{V \cdot T}.$$

Вынесем теперь в числителе V за скобки:

$$\sin \alpha_1 = \frac{\tau \cdot V \left(\cos \omega + \frac{W}{V} \cos \gamma_1 \right)}{V \cdot T}$$

и по сокращении на V получим

$$\sin \alpha_1 = \frac{\tau \left(\cos \omega + \frac{W}{V} \cos \gamma_1 \right)}{T} \dots \dots \dots (24)$$

Числитель последней дроби есть не что иное, как фактически полученный на приборе отсчет τ , умноженный на относительное изменение скорости звука от влияния ветра по выбранному направлению, другими словами это есть отсчет, который получился бы на приборе, если бы звуковой центр лежал в точке O_1 и при условии отсутствия ветра скорость звука была бы равна:

$$V \cdot \cos \omega + W \cdot \cos \gamma_1.$$

Следовательно $\tau \left(\cos \omega + \frac{W}{V} \cos \gamma_1 \right)$ есть исправленный отсчет для по-

лучения направления асимптоты $C_1 O_1$.

Обозначая этот исправленный отсчет τ_1 , будем иметь

$$\tau_1 = \tau \left(\cos \omega + \frac{W}{V} \cos \gamma_1 \right) \dots \dots \dots (25)$$

и

$$\sin \alpha_1 = \frac{\tau_1}{T} \dots \dots \dots (26)$$

Рассчитанный по формуле (26) угол α_1 дает нам направление асимптоты $C_1 O_1$, т. е. направление на смещенный ветром звуковой центр, и, чтобы получить истинное направление на искомую точку O_0 , т. е. чтобы

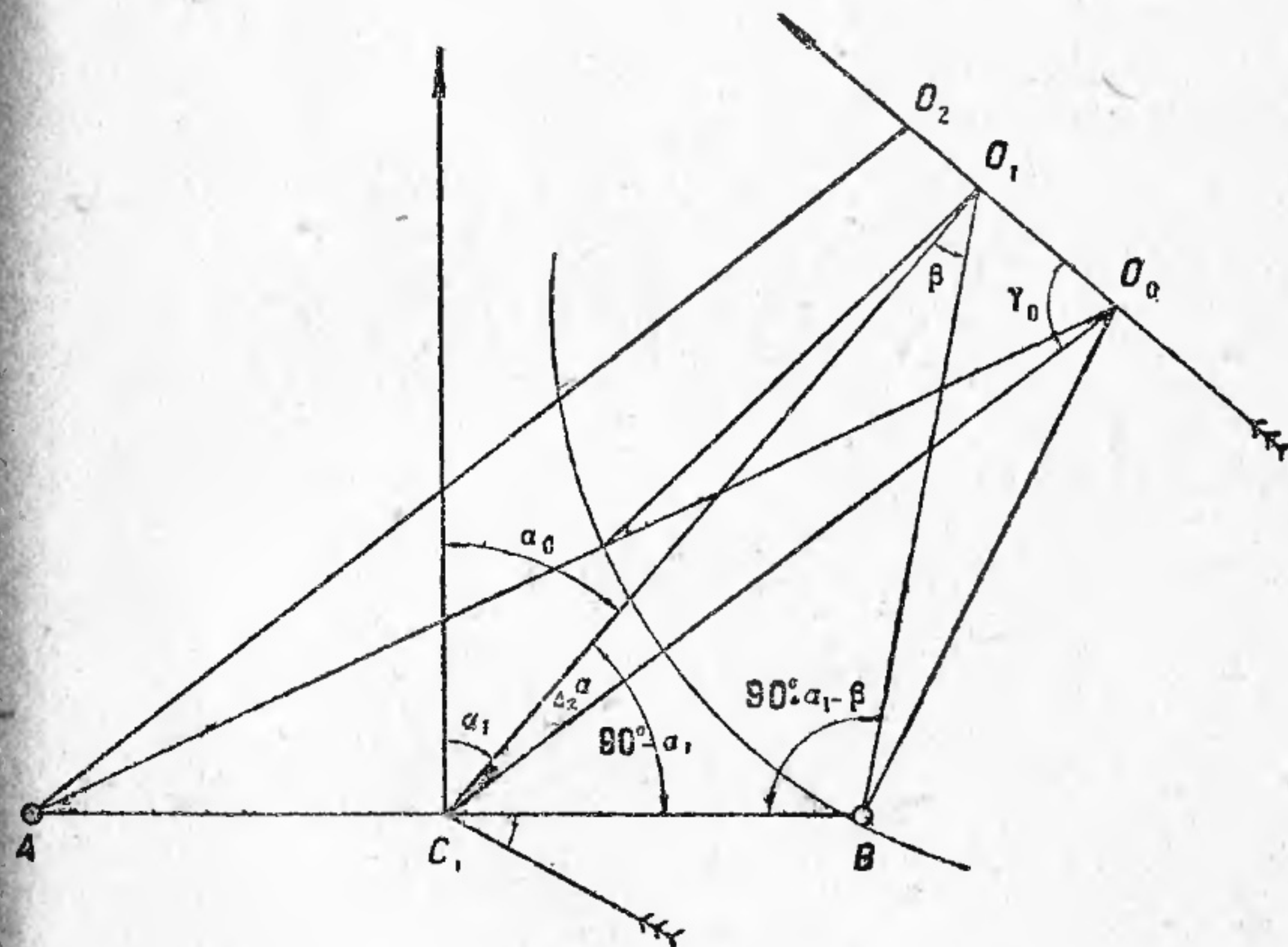
получить величину угла α_0 , нужно к полученному углу α_1 алгебраически прибавить поправку, которая будет выражаться величиной угла $\Delta_2 \alpha$, что и устанавливается из черт. 19. Итак

$$\alpha_0 = \alpha_1 + \Delta_2 \alpha.$$

Спределим теперь величину $\Delta_2 \alpha$.

Из треугольника $CO_1 O_0$ (черт. 19) по теореме синусов имеем:

$$\frac{O_1 O_0}{O_1 C_1} = \frac{\sin \Delta_2 \alpha}{\sin \gamma_0},$$



Черт. 19.

откуда

$$\sin \Delta_2 \alpha = \frac{O_1 O_0}{O_1 C_1} \cdot \sin \gamma_0 \dots \dots \dots (27)$$

Рассмотрим теперь треугольник $C_1 O_1 B$ (черт. 19), в котором

$$\angle O_1 C_1 B = 90^\circ - \alpha_1$$

и

$$\angle O_1 B C_1 = 180^\circ - (\angle O_1 C_1 B + \angle C_1 O_1 B).$$

Обозначив $\angle C_1 O_1 B = \beta$, получим после очевидной замены:

$$\angle O_1 B C_1 = 180^\circ - 90^\circ + \alpha_1 - \beta.$$

Сторону C_1O_1 можно определить из равенства:

$$C_1O_1 = \frac{BC_1 \cdot \sin(90^\circ + \alpha_1 - \beta)}{\sin \beta},$$

сторона же BC_1 нам известна: это — полубаза, которую мы обозначили e .

Угол $(90^\circ + \alpha_1 - \beta)$ представим в виде разности двух углов $(90^\circ + \alpha_1) - \beta$; тогда последняя формула напишется так:

$$C_1O_1 = \frac{BC_1 \cdot \sin[(90^\circ + \alpha_1) - \beta]}{\sin \beta}.$$

Из тригонометрии известно, что

$$\sin(A - B) = \sin A \cdot \cos B - \cos A \cdot \sin B,$$

поэтому в нашем случае будем иметь

$$C_1O_1 = \frac{BC_1 [\sin(90^\circ + \alpha_1) \cdot \cos \beta - \cos(90^\circ + \alpha_1) \cdot \sin \beta]}{\sin \beta},$$

а так как $\sin(90^\circ + \alpha_1) = \cos \alpha_1$ и $\cos(90^\circ + \alpha_1) = -\sin \alpha_1$, то, подставляя, получим

$$C_1O_1 = \frac{BC_1 [\cos \alpha_1 \cdot \cos \beta + \sin \alpha_1 \cdot \sin \beta]}{\sin \beta}.$$

Раскроем скобки в числителе:

$$C_1O_1 = \frac{BC_1 \cdot \cos \alpha_1 \cdot \cos \beta + BC_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot \sin \beta}{\sin \beta}.$$

Перепишем правую часть равенства в виде двух дробей:

$$C_1O_1 = \frac{BC_1 \cdot \cos \alpha_1 \cdot \cos \beta}{\sin \beta} + \frac{BC_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot \sin \beta}{\sin \beta}.$$

и, сокращая вторую дробь на $\sin \beta$, получим

$$C_1O_1 = \frac{BC_1 \cdot \cos \alpha_1 \cdot \cos \beta}{\sin \beta} + BC_1 \cdot \sin \alpha_1,$$

но так как $\sin \alpha_1 = \cos(90^\circ - \alpha_1)$, то

$$C_1O_1 = \frac{BC_1 \cdot \cos \alpha_1 \cdot \cos \beta}{\sin \beta} + BC_1 \cdot \cos(90^\circ - \alpha_1) \dots \dots \dots (28)$$

Сторона O_1B треугольника C_1OB найдется из выражения

$$O_1B = \frac{BC_1 \cdot \sin(90^\circ - \alpha_1)}{\sin \beta}$$

и

$$O_1B \cdot \sin \beta = BC_1 \cdot \sin(90^\circ - \alpha_1),$$

а

$$BC_1 = \frac{O_1B \cdot \sin \beta}{\sin(90^\circ - \alpha_1)}$$

и так как

$$\sin(90^\circ - \alpha_1) = \cos \alpha_1,$$

то

$$BC_1 = \frac{O_1B \cdot \sin \beta}{\cos \alpha_1}.$$

Подставим в формулу (28) вместо BC_1 найденное для нее выражение, тогда

$$C_1O_1 = \frac{O_1B \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha_1 \cdot \cos \beta}{\cos \alpha_1 \cdot \sin \beta} + \frac{O_1B \cdot \sin \beta \cdot \cos(90^\circ - \alpha_1)}{\cos \alpha_1}.$$

Сокращая первый член правой части последнего равенства на $(\cos \alpha_1 \cdot \sin \beta)$ и принимая во внимание, что

$$\frac{\cos(90^\circ - \alpha_1)}{\cos \alpha_1} = \frac{\sin \alpha_1}{\cos \alpha_1} = \operatorname{tg} \alpha_1,$$

получим

$$C_1O_1 = O_1B \cdot \cos \beta + O_1B \cdot \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \dots \dots \dots (29)$$

Подставим теперь в формулу (27) вместо C_1O_1 найденное для нее значение, тогда

$$\sin \Delta_1 \alpha = \frac{O_1O_0 \cdot \sin \gamma_0}{O_1B \cdot \cos \beta + O_1B \cdot \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha_1}.$$

Вынесем в знаменателе O_1B за скобку:

$$\sin \Delta_1 \alpha = \frac{O_1O_0 \cdot \sin \gamma_0}{O_1B (\cos \beta + \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha_1)}.$$

Перепишем теперь последнее выражение в следующем виде:

$$\sin \Delta_1 \alpha = \frac{O_1O_0}{O_1B} \cdot \sin \gamma_0 \cdot \frac{1}{\cos \beta + \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha_1} \dots \dots \dots (30)$$

Считая, что в перемещающемся слое атмосферы скорость звуковой волны от ветра не зависит, обозначим через Q время, потребное звуку, чтобы пройти длину акустического луча O_1B_1 , и через V — скорость звука и будем иметь

$$O_1B = V \cdot Q.$$

Очевидно, что путь, который прошел звуковой центр, двигаясь вместе со слоем атмосферы, совершающим движение со скоростью ветра W за тот же промежуток времени Q будет

$$O_1O_0 = W \cdot Q.$$

Подставляя в формулу (30) вместо O_1B и O_1O_0 найденные для них значения, получим

$$\sin \Delta_1 \alpha = \frac{W \cdot Q}{V \cdot Q} \cdot \sin \gamma_0 \cdot \frac{1}{\cos \beta + \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha_1}$$

и по сокращении на Q :

$$\sin \Delta_1 \alpha = \frac{W}{V} \cdot \sin \gamma_0 \cdot \frac{1}{\cos \beta + \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha_1} \dots \dots \dots (31)$$

Для удобства обозначим сомножителя:

$$\frac{1}{\cos \beta + \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha_1} = q,$$

тогда формула (31) примет вид:

$$\sin \Delta_2 \alpha = \frac{W}{V} \cdot \sin \gamma_0 \cdot q \dots \dots \dots (32)$$

Вычисления показывают, что множитель q очень близок к единице, следовательно $(1 - q)$ очень близко к нулю.

Очевидно тогда, если мы возьмем произведение

$$\frac{W}{V} \cdot \sin \gamma_0 \cdot (1 - q),$$

то оно обратится в нуль при $q = 1$ и будет близко к нулю, если

$$1 > q > 0.$$

Следовательно формулу (32) можно написать так:

$$\sin \Delta_2 \alpha = \frac{W}{V} \cdot \sin \gamma_0 - \frac{W}{V} \cdot \sin \gamma_0 \cdot (1 - q) \dots \dots \dots (33)$$

Формула (33) и ранее выведенная

$$\tau_1 = \tau \cdot \left(\cos \omega + \frac{W}{V} \cdot \cos \gamma_1 \right)$$

могут служить для вычисления поправок на влияние ветра, дело лишь в том, чтобы углы γ_0 и γ_1 , которые нам неизвестны и величины которых непосредственно определены быть не могут, выразить через величины таких углов, которые можно определить или вычислить.

Из черт. 19 видно, что

$$\gamma_0 = \theta + (90^\circ - \alpha_1) - \Delta_2 \alpha$$

или

$$\gamma_0 = (\theta + 90^\circ) - (\alpha_1 + \Delta_2 \alpha),$$

а так как

$$\alpha_1 + \Delta_2 \alpha = \alpha_0,$$

то

$$\gamma_0 = \theta + 90^\circ - \alpha_0 \dots \dots \dots (34)$$

Если обозначим отсчет, прочитанный на приборе через τ , то при некоторой базе во времени T :

$$\frac{\tau}{T} = \sin \alpha,$$

где α есть угол, полученный при неисправленном на влияние ветра отсчете τ .

Вычисления показывают, что углы α и α_0 отличаются друг от друга не более как на 2° даже при ветре в 10 м/сек. , поэтому, приняв α за истинный с направлением на искомую точку, мы можем допустить ошибку в 2° . Такая ошибка окончательного результата определения направления на искомую точку, вообще говоря, недопустима, однако если в формулу (34) мы вместо α_0

подставим α и следовательно в определении γ_0 допустим ошибку даже до 2° , то, как показывают расчеты, эта ошибка в очень малой степени будет влиять на окончательный результат¹. Такая замена тем более допустима, что точность, с которой определяются направление ветра, не превосходит 0-50 делений угломера, т. е. 3° , так что, допуская некоторую погрешность в определении величины угла γ_0 , которая при ветре меньшей скорости чем 10 м/сек. будет меньше 2° , мы не ухудшим точности конечного результата вычислений.

Итак, приняв для вычисления γ_0 ,

$$\alpha_0 = \alpha,$$

получим

$$\gamma_0 = \theta + 90^\circ - \alpha \dots \dots \dots (35)$$

Ясно, что вычисление α не составит труда, хотя бы путем отыскания его по угловым таблицам.

Таким образом по величине θ , нам известной, и α легко определим и γ_0 , пользуясь формулой (35).

Следует еще отметить, что ошибку в вычислении угла γ_0 по формуле (35) можно рассматривать как ошибку первого приближения. Следовательно, проделав все вычисления и определив α_0 в первом приближении, можно его величину подставить вместо α в формулу (35) и тогда, проделав еще раз определение α_0 , получим его величину во втором приближении, если в этом встретится необходимость. Второго приближения совершенно достаточно и очень часто можно ограничиться первым приближением, так как во всех тех случаях, когда направление ветра мало отличается от направления директрисы базы и когда скорость ветра невелика (меньше 10 м/сек.), вычисление угла α в первом приближении при прочих благоприятных условиях дает достаточно надежные результаты.

Что касается угла θ , составленного направлением акустической базы и направлением ветра, то величину его легко подсчитать, зная азимут базы и азимут ветра.

Следует только иметь в виду, что азимут ветра определяет направление на точку горизонта, откуда дует ветер.

Так как при правых отсчетах мы угол на цель измеряем от директрисы по часовой стрелке (вправо), то по аналогии условимся и угол θ для правых отсчетов измерять от направления правого конца базы по часовой стрелке.

При левых отсчетах углы α мы измеряем в направлении, обратном часовой стрелке, поэтому и углы θ при левых отсчетах будем измерять от левого конца базы также в направлении, обратном часовой стрелке.

Пример. Пусть азимут директрисы будет 46-00 (черт. 20) и азимут ветра 22-00.

Азимут правого конца базы будет $46-00 + 15-00 = 1-00$ (правый азимут) и левого конца: $46-00 - 15-00 = 31-00$ (левый азимут).

Тогда при правых отсчетах будем иметь

$$\theta_1 = 22-00 - 1-00 = 21-00,$$

т. е.

$$\theta_1 = A_z W - A_{z \text{ пр.}},$$

и при левых отсчетах:

$$\theta_2 = 31-00 - 22-00 = 9-00,$$

т. е.

$$\theta_2 = A_{z \text{ лев.}} - A_z W.$$

¹ Подробнее об этом см. Б. Г. Позоев, Основы звукометрии, ч. I, вып. I.

Рассчитаем теперь величину угла γ_1 , т. е. угла, составленного направлением ветра и направлением акустического луча из истинного положения звукового центра O_0 на левый конец базы A (черт. 21).

Из рассмотрения черт. 21 можно установить, что

$$\gamma_1 = \gamma_0 - \Delta\gamma_1,$$

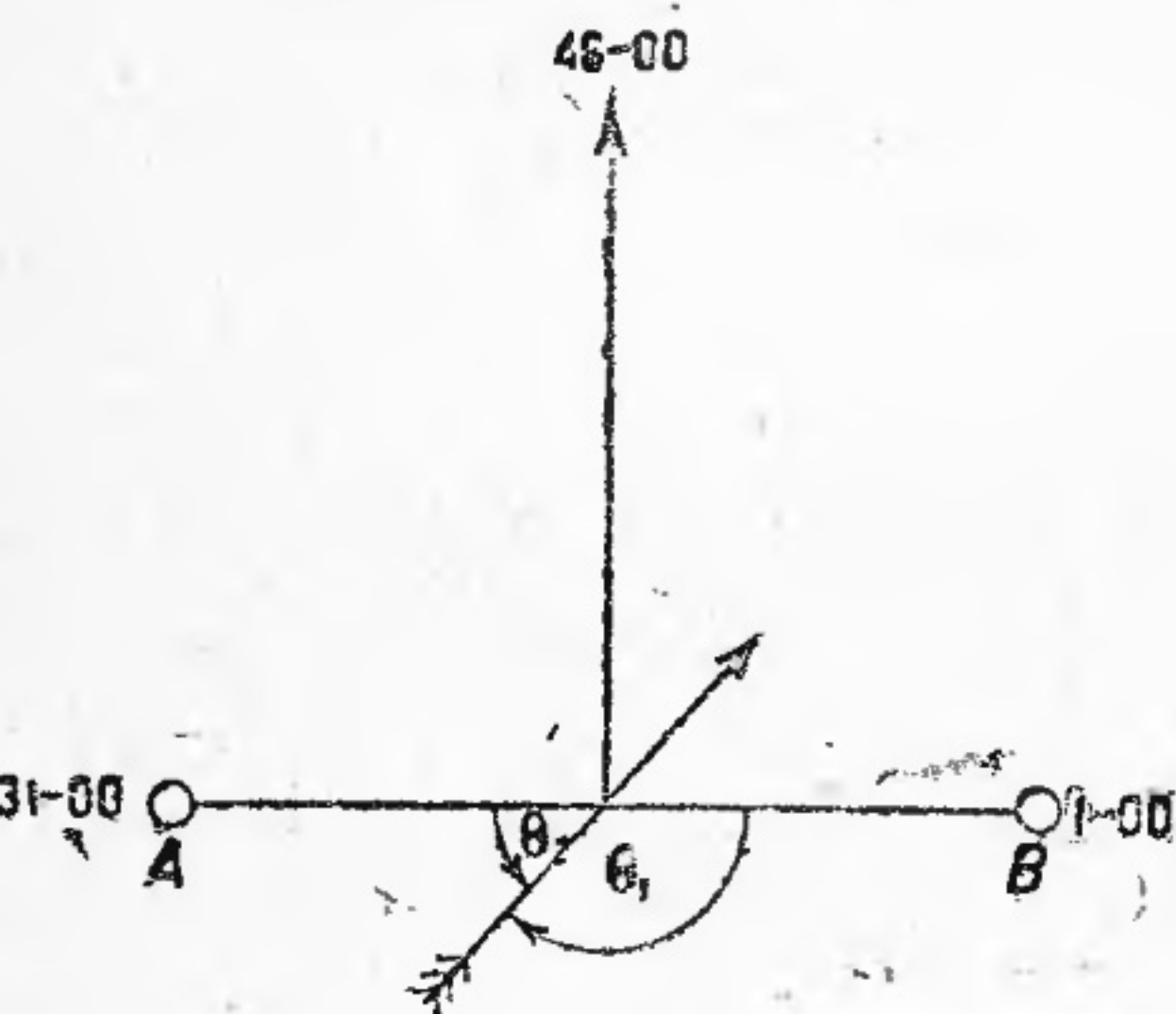
НО ТАК КАК:

$$\gamma_0 = \theta + 90^\circ - \alpha_0,$$

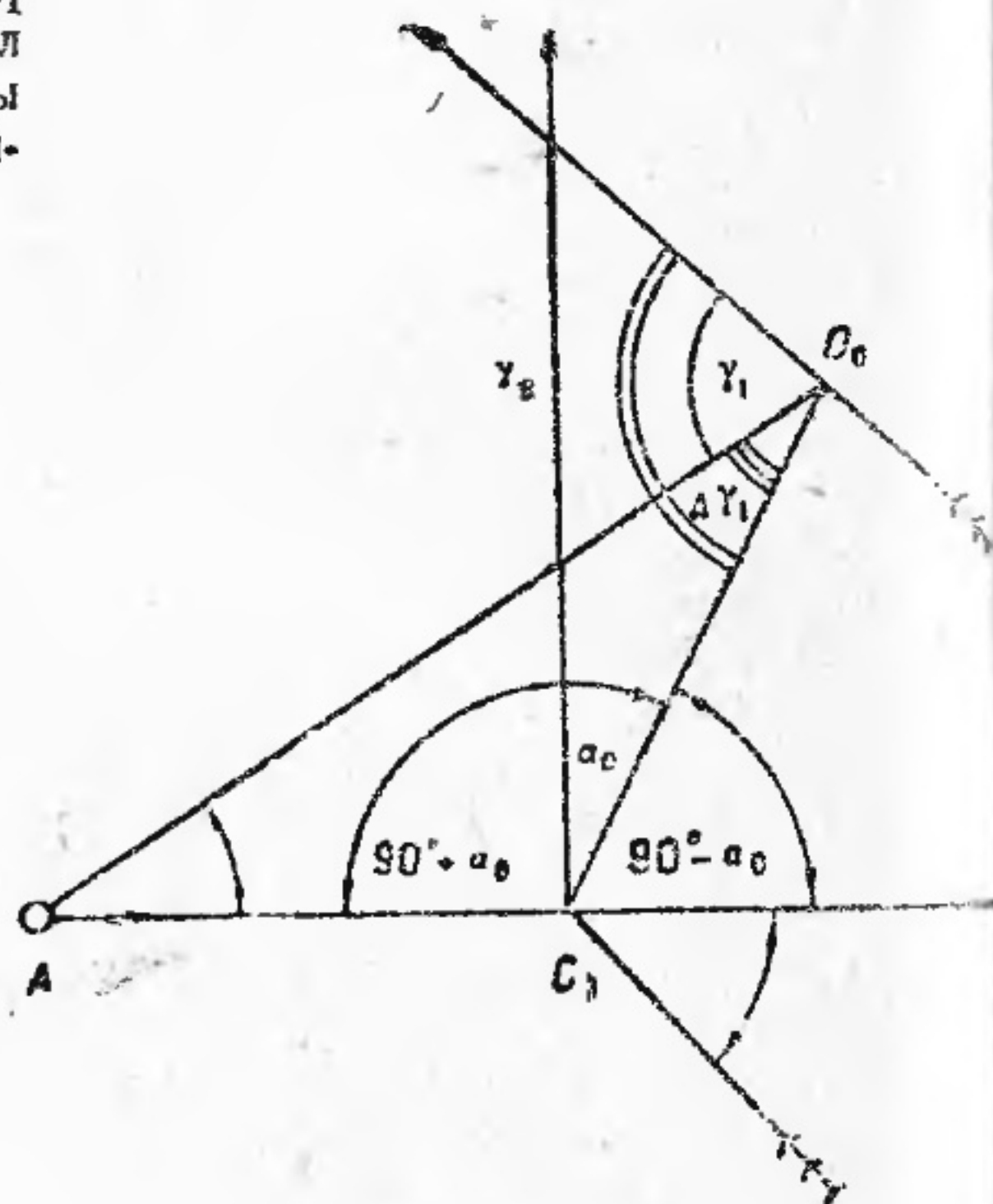
TO

$$\gamma_1 = \theta + 90^\circ - \alpha_0 - \Delta\gamma_1 \dots \dots \dots (36)$$

Заметим, что в треугольнике AO_0C_1 сторона AC есть полубаза s , угол $O_0C_1A = 90^\circ + \alpha_0$, и угол AO_0C_1 мы обозначили $\Delta\gamma_1$; тогда угол O_0AC_1 най-
дется из равенства:



Черт. 20.



Sept. 21.

$$\angle O_0AC_1 = 180^\circ - (90^\circ + \alpha_0 + \Delta\gamma_1)$$

УДН

$$\angle O_0AC_1 = 180^\circ - 90^\circ - \alpha_0 - \Delta\gamma_1$$

T. E.

$$\angle O_0AC_1 = 90^\circ - \alpha_0 - \Delta\gamma_1.$$

Обозначим сторону $O_0C_1 = R$ и

$$\frac{R}{2c} = \tau_b$$

ТОГДА

$$\frac{O_0 C_1}{AC_1} = \frac{R}{r} = 2.$$

Так как стороны треугольника пропорциональны синусам противолежащих им углов, то

$$\frac{O_0 C_1}{AC_1} = \frac{\sin(90^\circ - \alpha_0 - \Delta\gamma_1)}{\sin \Delta\gamma_1}.$$

Введем принятые выше обозначения и представим угол $(90^\circ - \alpha_0 - \Delta\gamma_1)$ в виде разности двух углов:

$$(90^\circ - \alpha_0) - \Delta\gamma_1,$$

тогда

$$2\eta = \frac{\sin [(90^\circ - \alpha_0) - \Delta\gamma_1]}{\sin \Delta\gamma_1},$$

откуда

$$2\eta = \frac{\sin(90^\circ - \alpha_0) \cdot \cos \Delta\gamma_1 - \cos(90^\circ - \alpha_0) \cdot \sin \Delta\gamma_1}{\sin \Delta\gamma_1};$$

или, заменяя $\sin(90^\circ - \alpha_0) = \cos \alpha_0$ и $\cos(90^\circ - \alpha_0) = \sin \alpha_0$,

$$2\eta = \frac{\cos \alpha_0 \cdot \cos \Delta\gamma_1 - \sin \alpha_0 \cdot \sin \Delta\gamma_1}{\sin \Delta\gamma_1}$$

Представим правую часть последнего выражения в виде 2 дробей:

$$2\eta = \frac{\cos \alpha_0 \cdot \cos \Delta\gamma_1}{\sin \Delta\gamma_1} - \frac{\sin \alpha_0 \cdot \sin \Delta\gamma_1}{\sin \Delta\gamma_1},$$

а, заменяя $\frac{\cos \Delta \gamma_1}{\sin \Delta \gamma_1} = \operatorname{ctg} \Delta \gamma_1$ и сокращая 2-й член правой части на $\sin \Delta \gamma_1$, получим

$$2\eta = \cos \alpha_0 \cdot \operatorname{ctg} \Delta \gamma_1 - \sin \alpha_0.$$

Решим последнее уравнение относительно $\operatorname{ctg} \Delta \gamma_1$

$$2\eta + \sin \alpha_0 = \cos \alpha_0 \cdot \operatorname{ctg} \Delta \gamma_{11}$$

откуда

$$\operatorname{ctg} \Delta \gamma_1 = \frac{2\eta + \sin \alpha_0}{\cos \alpha_0} \quad \dots \dots \dots (37)$$

По этой формуле и может быть произведено вычисление угла $\Delta\gamma_1$.

Подставив в формулу (36) вместо $\Delta\gamma_1$ его величину, определим и угол γ_1 .

Задаваясь различными η и различными α_0 , можно подсчитать для них величину $\Delta\gamma_1$ и полученные результаты свести в таблицу.

Такая таблица величин $\Delta\eta$, рассчитанная Б. Г. Позоевым, и приводится нами в приложении 2 (табл. 6).

Так как формула (36), по которой должно производиться определение угла γ_1 , содержит в себе α_0 , величина которого еще неизвестна, то согласно приведенных выше соображений в первом приближении будем заменять ее величиной α , т. е. будем поступать так же, как было указано при вычислении γ_0 .

В нашем распоряжении имеются следующие формулы для подсчета поправок на ветер:

$$\tau_1 = \tau (\cos \omega + \frac{W}{V} \cdot \cos \gamma_1) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (25)$$

$$\sin \Delta_2 \alpha = \frac{W}{V} \cdot \sin \gamma_0 - \frac{W}{V} \cdot \sin \gamma_0 (1 - q) \dots (33)$$

и вспомогательные для подсчета γ_0 , γ_1 и $\Delta\gamma_1$:

$$\gamma_0 = \theta + 90^\circ - \alpha_0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (34)$$

$$\gamma_1 = \theta + 90^\circ - \alpha_0 - \Delta\gamma_1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (36)$$

$$\text{и } \text{ctg } \Delta\gamma_1 = \frac{2\eta + \sin \alpha_0}{\cos \alpha_0} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (37)$$

причем величина $\Delta\gamma$ может быть определяема по таблице, приведенной в приложении 2 (табл. 6).

Формулы (25) и (33) могут быть приведены к виду, более удобному для пользования.

Заметим, что формулу (36) легко можно переписать так:

$$\gamma_1 = 90^\circ + (\theta - \alpha_0 - \Delta\gamma_1).$$

Удобнее в формуле (25) от $\cos \gamma_1$ перейти к $\sin (\theta - \alpha_0 - \Delta\gamma_1)$. В самом деле:

$$\cos \gamma_1 = \cos [90^\circ + (\theta - \alpha_0 - \Delta\gamma_1)],$$

но так как $\cos (90^\circ + A) = -\sin A$, то в нашем случае

$$\cos \gamma_1 = -\sin (\theta - \alpha_0 - \Delta\gamma_1).$$

Формула (25) после замены примет вид:

$$\tau_1 = \tau \left[\cos \omega - \frac{W}{V} \cdot \sin (\theta - \alpha_0 - \Delta\gamma_1) \right]$$

При малых скоростях ветра, не больших 10 м/сек., угол ω будет близок к нулю и следовательно $\cos \omega$ можно положить равным единице; тогда, раскрывая скобки в последнем выражении и принимая в первом приближении $\alpha_0 = \alpha$, получим:

$$\tau_1 = \tau - \tau \cdot \frac{W}{V} \cdot \sin (\theta - \alpha - \Delta\gamma_1) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (38)$$

Формула (38) позволяет нам фактически полученный на регистрирующем приборе отсчет τ исправить на влияние ветра и определить отсчет τ_1 , соответствующий углу α_1 , дающему направление на точку, в которой находится смещенный под влиянием ветра звуковой центр.

Как видно из формулы (38), поправочным членом является множитель $\frac{W}{V} \cdot \sin (\theta - \alpha - \Delta\gamma_1)$. Для удобства подсчета этого множителя в приложении 2 приводится табл. 7, составленная Б. Г. Позоевым для скорости ветра в 1 м/сек. при различных скоростях звука и углах $(\theta - \alpha - \Delta\gamma_1)$.

Итак для определения τ_1 нужно подсчитать угол $(\theta - \alpha - \Delta\gamma_1)$, где θ , α и $\Delta\gamma_1$ определяются: θ — как разность азимутов направления базы и ветра, α — для первого приближения из формулы $\sin \alpha = \frac{\tau}{r}$ (или по угловым таблицам) и $\Delta\gamma_1$ — из табл. 6.

Зная эти величины, определим значение поправочного множителя

$$\frac{W}{V} \cdot \sin (\theta - \alpha - \Delta\gamma_1)$$

из табл. 7 для $W = 1$ м/сек., полученную величину умножим на данную скорость ветра и на τ и результат алгебраически вычтем из τ .

Так как величины W и V всегда положительные, то очевидно знак поправочного множителя будет зависеть от знака

$$\sin (\theta - \alpha - \Delta\gamma_1).$$

Так как синусы углов в пределах $0^\circ - 180^\circ$ положительны, то если угол $(\theta - \alpha - \Delta\gamma_1)$ не больше 180° , знак поправочного множителя плюс, в противном случае поправочный множитель будет иметь знак минус.

Ввиду того что в табл. 7 входным числом указаны углы 1-й четверти, то в случае получения угла $(\theta - \alpha - \Delta\gamma_1)$ за пределами первой четверти, т. е. когда этот угол тупой, в таблице будем искать поправочный член против дополнительного острого угла.

Примеры: 1) Угол $(\theta - \alpha - \Delta\gamma_1) = 28-00$; $V = 340$ м/сек. Так как $\sin (28-00) = \sin 2-00$, в таблице против угла 2-00 и $V = 340$ м/сек. читаем величину поправочного множителя: + 0,0006. Знак плюс потому, что синус угла 2-й четверти положительный.

2) Угол $(\theta - \alpha - \Delta\gamma_1) = 36-00$; $V = 330$ м/сек. $\sin (36-00) = -\sin (6-00)$, при $V = 330$ м/сек. находим величину поправочного множителя: - 0,0018.

3) Угол $(\theta - \alpha - \Delta\gamma_1) = 53-50$; $V = 320$ м/сек. $\sin (53-50) = -\sin (6-50)$, величина поправочного множителя будет - 0,00195 или, округляя, - 0,0020.

Полученные таким образом из таблиц значения поправочного множителя вычислены для $W = 1$ м/сек. Если скорость ветра в наших примерах была $W = 8$ м/сек., то соответственно для 3 разобранных случаев будем иметь

$$1) \frac{W}{V} \cdot \sin (\theta - \alpha - \Delta\gamma_1) = +0,0006 \times 8 = 0,0048;$$

$$2) \frac{W}{V} \cdot \sin (\theta - \alpha - \Delta\gamma_1) = -0,0018 \times 8 = -0,0144;$$

$$3) \frac{W}{V} \cdot \sin (\theta - \alpha - \Delta\gamma_1) = -0,0020 \times 8 = -0,0160.$$

Обратимся теперь к поправке, которую нужно ввести в величину угла α_1 за счет переноса звукового центра под влиянием ветра из истинного положения искомой точки O_0 в точку O_1 , т. е. к поправке, которую мы называли $\Delta_2\alpha$.

Рассмотрим формулу (33), определяющую поправочный угол $\Delta_2\alpha$ через его синус и вспомогательную формулу (34), дающую возможность подсчитать угол γ_0 :

$$\sin \Delta_2\alpha = \frac{W}{V} \cdot \sin \gamma_0 - \frac{W}{V} \sin \gamma_0 \cdot (1 - q) \dots (33)$$

$$\gamma_0 = \theta + 90^\circ - \alpha_0 \dots (34)$$

В формулу (33), как видно, входит $\sin \gamma_0$:

$$\sin \gamma_0 = \sin (\theta + 90^\circ - \alpha_0)$$

или

$$\sin \gamma_0 = \sin [90^\circ + (\theta - \alpha_0)]$$

и

$$\sin \gamma_0 = \cos (\theta - \alpha_0).$$

Принимая в первом приближении $\alpha_0 = \alpha$ и подставляя в формулу (33) вместо $\sin \gamma_0 = \cos (\theta - \alpha)$, получим

$$\sin \Delta_2\alpha = \frac{W}{V} \cdot \cos (\theta - \alpha) - (1 - q) \frac{W}{V} \cdot \cos (\theta - \alpha) \dots (39)$$

Формула (39) является окончательной для подсчета $\sin \Delta_2\alpha$.

Множитель $\frac{W}{V} \cos (\theta - \alpha)$ найдется из той же табл. 7, что и множитель $\frac{W}{V} \cdot (\theta - \alpha - \Delta\gamma_1)$ для $W = 1$ м/сек. и при различной скорости звука.

Значение множителя $(1 - q)$ при различных α и η получим из табл. 9, а величину угла $\Delta_2\alpha$ по найденному его синусу из табл. 8¹.

Как видно из рассмотрения формулы (39), знак поправки $\Delta_2\alpha$ будет зависеть от знака сомножителя $\cos (\theta - \alpha)$, следовательно от угла $(\theta - \alpha)$.

Так как косинусы углов от 0° до 90° (от 0 до 15-00 дел. угломера) и от 270° до 360° (от 45-00 до 60-00 дел. угломера) положительны, то, имея угол $(\theta - \alpha)$ в этих пределах, поправку $\Delta_2\alpha$ возьмем со знаком плюс. При углах $(\theta - \alpha)$

¹ Табл. 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9, рассчитанные Б. Г. Позовым, заимствованы нами из „Основ звукометрии“, ч. I, вып. I.

в пределах от 90° до 180° (от 15-00 до 30-00 дел. угломера) и от 180° до 270° (от 30-00 до 45-00 дел. угломера) косинусы отрицательны, и поправку $\Delta_2\alpha$ будем брать со знаком минус.

Поправка $\Delta_2\alpha$ всегда алгебраически прибавляется к углу α_1 . Так как в табл. 7 приведены значения множителя

$$\frac{W}{V} \cos (\theta - \alpha)$$

для углов первой четверти, то когда угол $(\theta - \alpha)$ окажется тупым, косинус его нужно привести к косинусу соответствующего острого угла.

Примеры: 1) Угол $(\theta - \alpha) = 19-00$; $V = 320$ м/сек.; $W = 8$ м/сек. Так как $\cos 19-00 = -\cos 11-00$, то в таблице находим:

$$\frac{W}{V} \cdot \cos (\theta - \alpha) = -0,0013 \times 8 = -0,0104.$$

2) Угол $(\theta - \alpha) = 38-00$; $V = 330$ м/сек.; $W = 6$ м/сек. Так как $\cos 38-00 = -\cos 8-00$, то $\frac{W}{V} \cdot \cos (\theta - \alpha) = -0,0020 \times 6 = 0,0120$.

3) Угол $(\theta - \alpha) = 46-00$; $V = 340$ м/сек.; $W = 5$ м/сек.; $\cos 46-00 = \cos 14-00$ и $\frac{W}{V} \cdot \cos (\theta - \alpha) = +0,0003 \times 5 = 0,0015$.

Для уяснения всего изложенного о поправках на ветер, а также для усвоения порядка вычислений и пользования таблицами рассмотрим приводимые ниже примеры для случаев правых и левых отсчетов.

Пример вычисления поправок на ветер.

Пусть азимут директрисы акустической базы АВ будет 38-00;

азимут ветра $A_z W = 25-00$;
 скорость ветра $W = 8$ м/сек.;
 температура $t^\circ = 12^\circ$;
 давление $H = 760$ мм;
 влажность $e = 8$ мм;
 длина базы АВ $2s = 321$ м;

отсчеты на приборе — $\tau' = 325$ тысячных секунды (правый отсчет),

„ „ „ — $\tau'' = 300$ „ „ (левый отсчет);

примерная дистанция до цели в базах — $\eta = 5$. Для ясности решения изобразим взаимное положение директрисы базы и направления ветра на абрисе (черт. 22).

Решение:

1) Определим скорость звука V .

$$\frac{e}{h} = \frac{8}{760} = 0,011 \text{ } ^\circ.$$

По табл. 3 находим скорость звука $V_{t, \frac{e}{h}}$ при $t^\circ = 12^\circ$ и $\frac{e}{h} = 0,011$:

$$V_{t, \frac{e}{h}} = 339,1 \text{ м/сек.}$$

2) Вычисляем „базу во времени“:

$$T_{t, \frac{e}{h}} = \frac{2c}{V_{t, \frac{e}{h}}} = \frac{321}{339,1} = 0,947.$$

3) Вычислим α по формуле

$$\sin \alpha = \frac{\tau}{T} = \frac{0,325}{0,947}$$

или определим его по угловым таблицам:

$$\alpha = 3-35.$$

4) Вычислим поправки на ветер:

а) Определим угол θ .

Азимут директрисы базы 38-00, поэтому азимут правого конца базы

$$A_{z \text{ пр.}} = 38-00 + 15-00 = 53-00.$$

Угол θ для правых отсчетов определяется из формулы

$$\theta = A_{zW} - A_{z \text{ пр.}}$$

$$\theta = (25-00) - (53-00) = [(25-00) + (60-00)] - (53-00) = (85-00) - (53-00) = 32-00.$$

б) Принимая в первом приближении $\alpha_0 = \alpha$, по табл. 6 определим $\Delta\gamma_1$ при $\eta = 5$

$$\Delta\gamma_1 = 0-87.$$

в) Подсчитаем поправку на относительное изменение скорости звука, пользуясь формулой

$$\tau_1 = \tau - \left[\tau \cdot \frac{W}{V} \cdot \sin (\theta - \alpha - \Delta\gamma_1) \right]$$

и табл. 7.

$$\text{Угол } (\theta - \alpha - \Delta\gamma_1) = (32-00) - (3-35) - (0-87) = 27-78.$$

По табл. 7 величина множителя $\frac{W}{V} \cdot \sin (27-78) = \frac{W}{V} \cdot \sin (2-22) = 0,0007$ при $W = 1 \text{ м/сек.}$ и $V = 340 \text{ м/сек.}$

1) Отношение $\frac{e}{h}$ легко находится из табл. 2.

При ветре в 8 м/сек. величина поправочного множителя

$$0,0007 \times 8 = 0,0056.$$

Тогда

$$\tau_1 = 0,325 - (0,325 \cdot 0,0056) = 0,325 - 0,00182 = 0,32318 = 0,323;$$

$$\alpha_1 = 3-32.$$

г) Подсчитаем теперь поправку $\Delta_2\alpha$, для чего воспользуемся формулой

$$\sin \Delta_2\alpha = \frac{W}{V} \cdot \cos (\theta - \alpha) - (1 - q) \frac{W}{V} \cdot \cos (\theta - \alpha)$$

и табл. 7.

Воспользовавшись табл. 9, подсчитаем величину множителя $(1 - q)$ при $\eta = 5$ и $\alpha = 3-35$:

$$(1 - q) = 0,03$$

$$\sin \Delta_2\alpha = \frac{W}{V} \cdot \cos [(32-00) - (3-35)] - 0,03 \frac{W}{V} \cdot \cos [(32-00) - (3-35)];$$

$$\sin \Delta_2\alpha = \frac{W}{V} \cdot \cos (28-65) - 0,03 \frac{W}{V} \cdot \cos (28-65).$$

При $W = 1 \text{ м/сек.}$:

$$\frac{W}{V} \cos (28-65) = \frac{W}{V} [-\cos (1-35)] = -0,0029.$$

При $W = 8 \text{ м/сек.}$:

$$\sin \Delta_2\alpha = -8 \cdot 0,0029 + 8 \cdot 0,03 \cdot 0,0029 = -0,0232 + 0,000696.$$

$$\sin \Delta_2\alpha = -0,0232 + 0,0007 = -0,0225.$$

По табл. 8 по синусу угла $\Delta_2\alpha$ находим угол

$$\Delta_2\alpha = -0-22,$$

а так как

$$\alpha_0 = \alpha_1 + \Delta_2\alpha,$$

то

$$\alpha_0 = (3-32) + (-0-22) = 3-10.$$

Поправка $\Delta_1\alpha$ при $\eta = 5$ и $\alpha = 3-10$ по таблице 5: $\Delta_1\alpha = 0-02$ и окончательный угол $\alpha_0 = (3-10) + (0-02) = 3-12$.

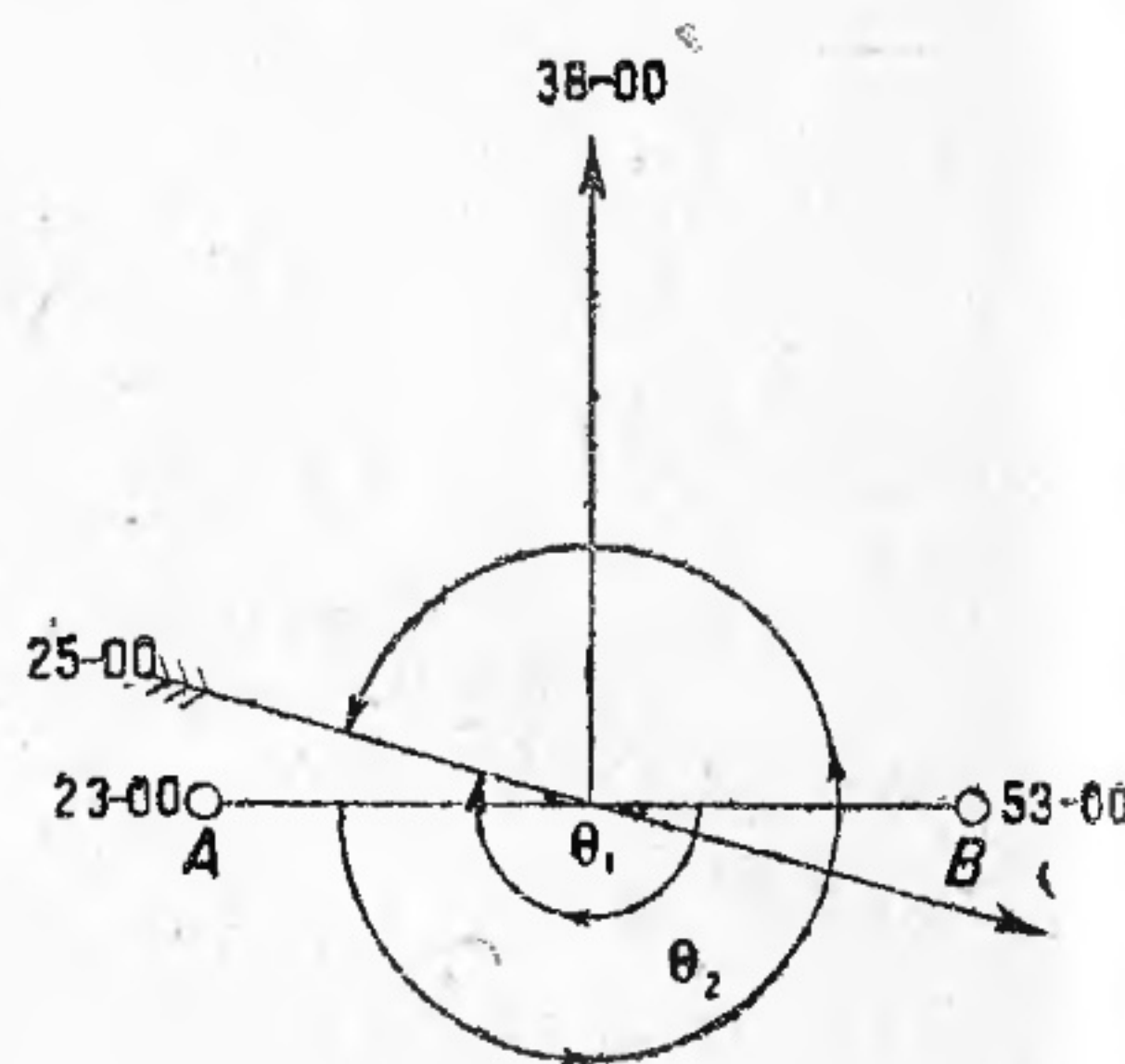
1) Величина угла $\alpha_0 = 3-12$ получена в первом приближении. Для получения значения α_0 во втором приближении следовало бы вместо α подставить α_0 в первом приближении и проделать вычисления еще раз. Но так как в нашем примере α_0 и α отличаются друг от друга всего лишь на 0-25 делений угломера, то уточнение вторым приближением не дало бы выгоды в отношении точности окончательного результата.

Так как отсчет был правый, то в случае графической обработки угла 3-12 надо строить от директрисы вправо.

Прделаем теперь вычисления поправок на ветер для случая левого отсчета в условиях рассматриваемого примера.

Очевидно скорость звука, а следовательно и „база во времени“ при данных условиях будут согласно сделанных уже расчетов:

$$V_{t, \frac{e}{h}} = 339,1 \text{ м/сек. и } T_{t, \frac{e}{h}} = 0,947.$$



Черт. 22.

Проф. Тихановым была предложена формула, объединяющая обе поправки на ветер. Формула эта в принятых нами обозначениях будет иметь вид:

$$a = \frac{W}{V} \cdot \cos \theta \cdot T,$$

где a есть поправка на ветер, выраженная в делениях угломера. В свое время по этой формуле были составлены таблицы, причем T принято было равным 1 сек., V прини-

Определим θ_2 .

Азимут левого конца базы

$$Az_{\text{лев.}} = 38-00 - 15-00 = 23-00.$$

θ_2 определится из формулы

$$\theta_2 = Az_{\text{лев.}} - Az_{\text{ш.}}$$

$$\theta_2 = (23-00) - (25-00) = [(23-00) + (60-00)] - (25-00) = (83-00) - (25-00) = 58-00;$$

$$\sin \alpha = \frac{0,300}{0,947}; \quad \alpha = 3-08.$$

По табл. 6 $\Delta \gamma_1 = 0-88$:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= 0,300 - \left[0,300 \cdot \frac{W}{V} \cdot \sin (58-00 - 3-08 - 0-88) \right] = 0,300 - \\ &- \left[0,300 \cdot \frac{W}{V} \cdot \sin (54-00) \right] = 0,300 - 0,300 \cdot (-0,0136) = 0,300 - \\ &- (-0,00408) = 0,304; \end{aligned}$$

отсюда

$$\alpha_1 = 3-13;$$

$$\sin \Delta_2 \alpha = \frac{W}{V} \cdot \cos (58-00 - 3-08) - (1 - q) \cdot \frac{W}{V} \cdot \cos (58-00 - 3-08).$$

По табл. 9:

$$(1 - q) = 0,03$$

$$\sin \Delta_2 \alpha = \frac{W}{V} \cdot \cos (54-92) - 0,03 \cdot \frac{W}{V} \cdot \cos (54-92);$$

$$\frac{W}{V} \cdot \cos (54-92) = \frac{W}{V} \cdot \cos (5-08);$$

$$\sin \Delta_2 \alpha = (0,0025 \cdot 8) - 0,03 \cdot 0,0025 \cdot 8 = 0,02 - 0,0006 = 0,0194;$$

$$\Delta_2 \alpha = +0-19;$$

$$\alpha_0 = 3-13 + 0-19 = 3-32.$$

Введя поправку $\Delta_1 \alpha_1$, окончательно получим

$$\alpha_0' = 3-32 + 0-01 = 3-31.$$

Так как отсчет на базе был левый, то и угол 3-31 в случае графической обработки надо строить от директрисы влево.

малось для летних условий равной 340 м/сек. и для зимних—320 м/сек.

За угол θ принимался острый угол, составленный направлением акустической базы и вектором ветра, следовательно никаких указаний о знаке поправки формула не давала, и для того чтобы установить, следует ли угол α увеличить или уменьшить на величину a , необходимо было иметь абрис с взаимным положением базы и вектора ветра.

Следует отметить, что хотя объединение обеих поправок на ветер в одну и имело некоторое преимущество с точки зрения удобства вычисления поправки, но оно представляется нам неверным для того случая, который чаще всего будет иметь место на практике, а именно, когда на акустической базе, расположенной в лесу или кустарнике, мы будем наблюдать ветер значительно меньшей силы, чем во всем районе, отделяющим акустическую базу от стреляющей батареи противника. Следовательно поправка на изменение скорости звука от влияния ветра на участке времени τ , пока звуковая волна идет от одного конца базы до другого, зависит от ветра одной скорости, а перемещение звуковой волны в сторону обуславливается ветром, направление и скорость которого могут значительно отличаться от определенных в районе расположения базы.

Приведенные же в настоящей главе формулы (38) и (39) позволяют учитывать оба влияния ветра и вводить две самостоятельных поправки.

Из сказанного непосредственно вытекает, что и аэрологические наблюдения должны быть организованы на самих акустических базах для получения данных о ветре, учет которого будем производить по формуле (38). Что же касается сноса звукового центра под влиянием ветра, учитываемого по формуле (39), то данные о направлении и скорости ветра для расчета 2-й поправки нужно получать от АМЛ, расположенного так, чтобы можно было получить характеристику ветра для всего района, отделяющего нас от противника.

Расчет поправок на ветер удобно производить по схеме, предложенной В. Н. Сотенским (приложение 3).

ГЛАВА III.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЦЕЛИ ПО ДАННЫМ ЗВУКОВОЙ РАЗВЕДКИ.

Определение положения цели по данным звуковой разведки может быть выполнено или графическим построением искомой точки на планшете с последующим определением ее координат по планшету, или же путем непосредственного расчета ее координат.

При графическом методе работы необходимо иметь планшет, подготовленный обычным порядком, т. е. наклеенный на доску и разграфленный на квадраты. Масштаб планшета принимается порядка $1/25\,000$. Квадраты планшета надписываются согласно принятой системе координат.

По данным топографической подготовки на планшет с возможно большей тщательностью наносятся центры акустических баз и прочерчиваются направления их директрис.

После подсчета углов α' и α'' при центрах каждой из баз в соответствующую сторону от директрисы откладывается величина полученного на данной базе угла. Построение углов производится с помощью хордоугломера или любым из построительных приборов, обладающим необходимой точностью. Пересечение сторон построенных углов дает положение искомой точки.

При наличии 3 акустических баз пересечение сторон построенных углов обычно образует треугольник погрешностей, и истинное положение искомой точки принимается в центре вписанного в этот треугольник круга.

Координаты полученной таким образом цели определяются на планшете при помощи квадратов планшета, поперечного масштаба и циркуля.

Рассмотрим теперь метод аналитического расчета координат цели.

Как было выяснено в главе II, для определения положения цели необходимо и достаточно иметь 2 акустические базы, поэтому, рассматривая вопрос об аналитическом ме-

тоде расчета координат цели, будем исходить пока из наличия только 2 баз.

Пусть по данным топографической подготовки известно, что координаты центра правой базы C_2 будут x_2 и y_2 и азимут ее директрисы — Az_2 и что координаты центра левой базы C_1 будут x_1 и y_1 и азимут ее директрисы Az_1 .

Положим, что углы на цель после введения всех поправок оказались равными α_2 — на правой базе и α_1 — на левой (черт. 23).

Как видно из чертежа, вопрос о нахождении положения точки O сводится к решению треугольника C_1OC_2 .

Совершенно очевидно, что всю работу в этом случае можно разделить на 2 части: „первую — подготовительную, которая может быть проделана еще до получения углов α_1 и α_2 , и вторую — непосредственное определение координат точки O после получения углов α_1 и α_2 .

К подготовительной части работы отнесем:

1. Определение азимута направления геодезической базы с точки C_1 на точку C_2 и обратного, т. е. с точки C_2 на точку C_1 . Это вычисление будет проделано на звукобатарее только в том случае, если эти азимуты почему-либо не даны топографическим отрядом.

2. Вычисление длины геодезической базы.

3. Вычисление углов Σ_1 и Σ_2 (черт. 23) по данным азимутам директрис и геодезической базы.

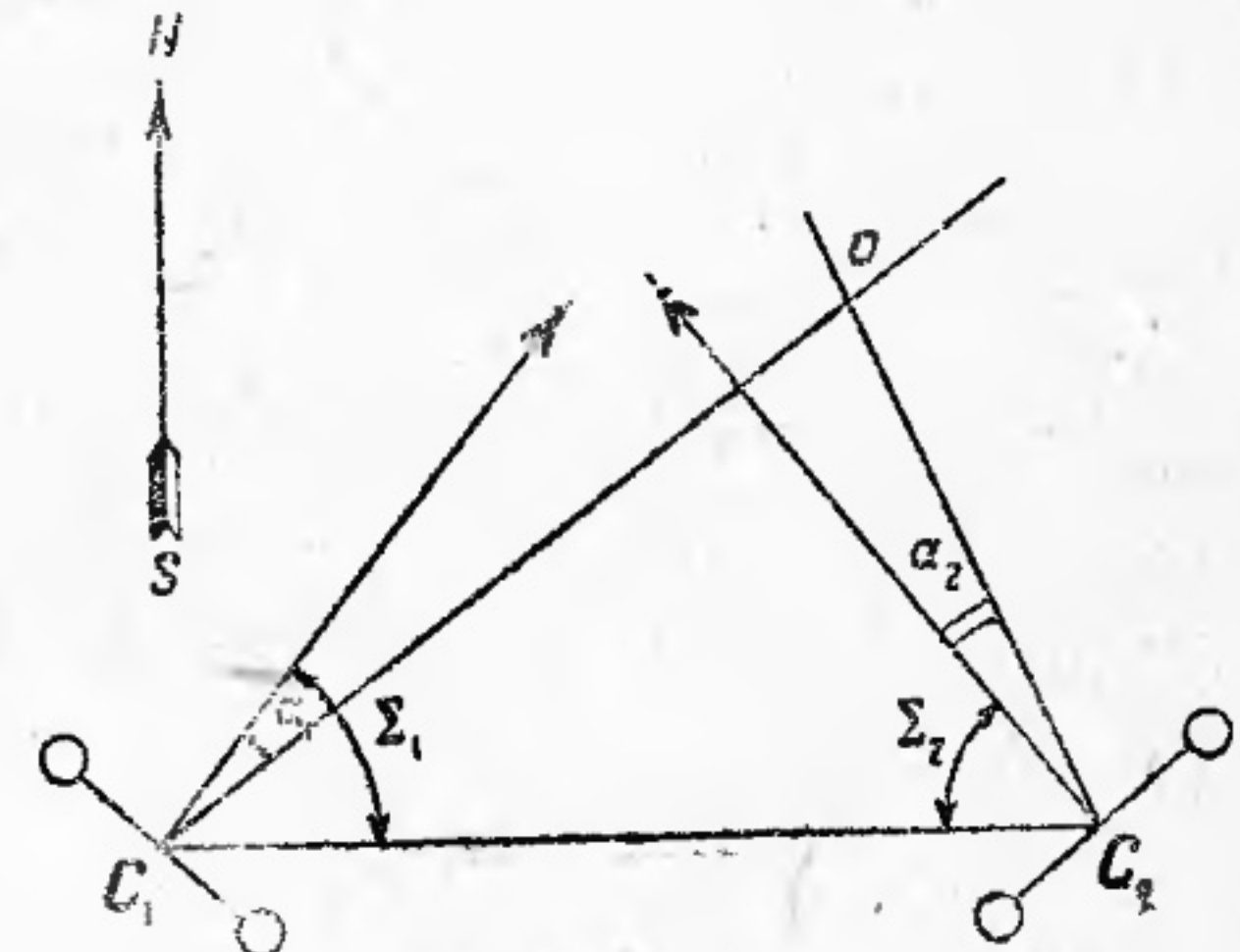
Просмотрим всю эту подготовительную часть работы по пунктам:

1. Из геодезии известно, что азимут направления с точки C_1 на точку C_2 найдется по формуле:

$$\operatorname{tg} r^0 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \dots \dots \dots (40)$$

где r^0 — румб линии, а x_1, y_1 и x_2, y_2 — соответствующие координаты точек C_1 и C_2 .

Название румба определим по правилу: „Если при вычитании игреков в числителе правой части выражения (40)



Черт. 23.

и при вычитании иксов в знаменателе того же выражения обе разности положительны, то румб — северо-восточный (СВ); если же разность игреков окажется положительной, а разность иксов — отрицательной, то румб — юго-восточный (ЮВ);

если обе разности отрицательны, то румб — юго-западный (ЮЗ), и наконец если разность игреков отрицательная, а разность иксов положительная, то румб — северо-западный (СЗ).

Таким образом легко перейти от румба к азимуту направления с точки C_1 на точку C_2 , соблюдая следующее правило перехода:

Если румб СВ, то азимут = румбу ($Az = r^\circ$),
 " " ЮВ, " " = $180^\circ - \text{румб}$ ($180^\circ - r^\circ$),
 " " ЮЗ, " " = $180^\circ + \text{румб}$ ($180^\circ + r^\circ$),
 " " СЗ, " " = $360^\circ - \text{румб}$ ($360^\circ - r^\circ$).

Найдя азимут направления с точки C_1 на точку C_2 и изменив его на 180° , получим обратный азимут, т. е. азимут направления с точки C_2 на точку C_1 .

2. Длину геодезической базы C_1, C_2 рассчитаем по формуле

$$B = \frac{y_2 - y_1}{\sin r^\circ} = \frac{x_2 - x_1}{\cos r^\circ} \dots \dots \dots (41)$$

где r° есть румб направления с C_1 на C_2 , B — база и остальные члены выражения — знакомые нам величины.

Для контроля производимых расчетов воспользуемся и отношением разности игреков к $\sin r^\circ$ и отношением разности иксов к $\cos r^\circ$, а вычисления будем производить по общепринятой схеме:

	$B =$	
	$\log B =$	
2	$\log (y_2 - y_1) =$	
1	$\log \sin r^\circ =$	
3	$\log \cos r^\circ =$	
4	$\log (x_2 - x_1) =$	
	$\log B =$	
	$B =$	

Цифры перед строками показывают порядок вписывания данных.

Найдя $\log \sin r^\circ$ и $\log \cos r^\circ$, а также логарифмы разностей игреков и разностей иксов, вычитаем из 2-го 1-е и из 4-го 3-е, получаем в обоих случаях логарифмы базы. Найдя по логарифму число, определим длину базы.

При правильных расчетах длина базы в обоих случаях вычислений должна получиться одинаковой.

Однако следует иметь в виду, что разница между логарифмами базы при малых углах, когда синус близок к нулю, а косинус — к единице, может наблюдаться и в четвертом знаке. В этом случае за истинную длину базы принимается среднее арифметическое из обоих значений.

3. Как это видно из черт. 23, углы Σ_1 и Σ_2 найдутся из равенства:

$$\Sigma_1 = Az \text{ базы} - Az_1,$$

$$\Sigma_2 = Az_2 - \text{обратный } Az \text{ базы.}$$

Примечание. Если уменьшаемое меньше вычитаемого, то к первому нужно прибавить 360° .

Пусть теперь на базах получены углы: на левой α_1 — правый и на правой α_2 — левый.

Очевидно, что для решения треугольника C_1OC_2 необходимо знать величины углов ψ_1 и ψ_2 (черт. 24).

Из черт. 24 видно, что углы ψ_1 и ψ_2 найдутся из условий:

$$\psi_1 + \alpha_1 = \Sigma_1 \quad \text{и} \quad \psi_2 + \alpha_2 = \Sigma_2;$$

тогда

$$\psi_1 = \Sigma_1 - \alpha_1 \quad \text{и} \quad \psi_2 = \Sigma_2 - \alpha_2.$$

Если же на левой базе угол α_1^1 получился левый, а на правой базе угол α_2^1 — правый, то, как видно из того же чертежа,

$$\psi_1^1 = \Sigma_1 + \alpha_1^1 \quad \text{и} \quad \psi_2^1 = \Sigma_2 + \alpha_2^1.$$

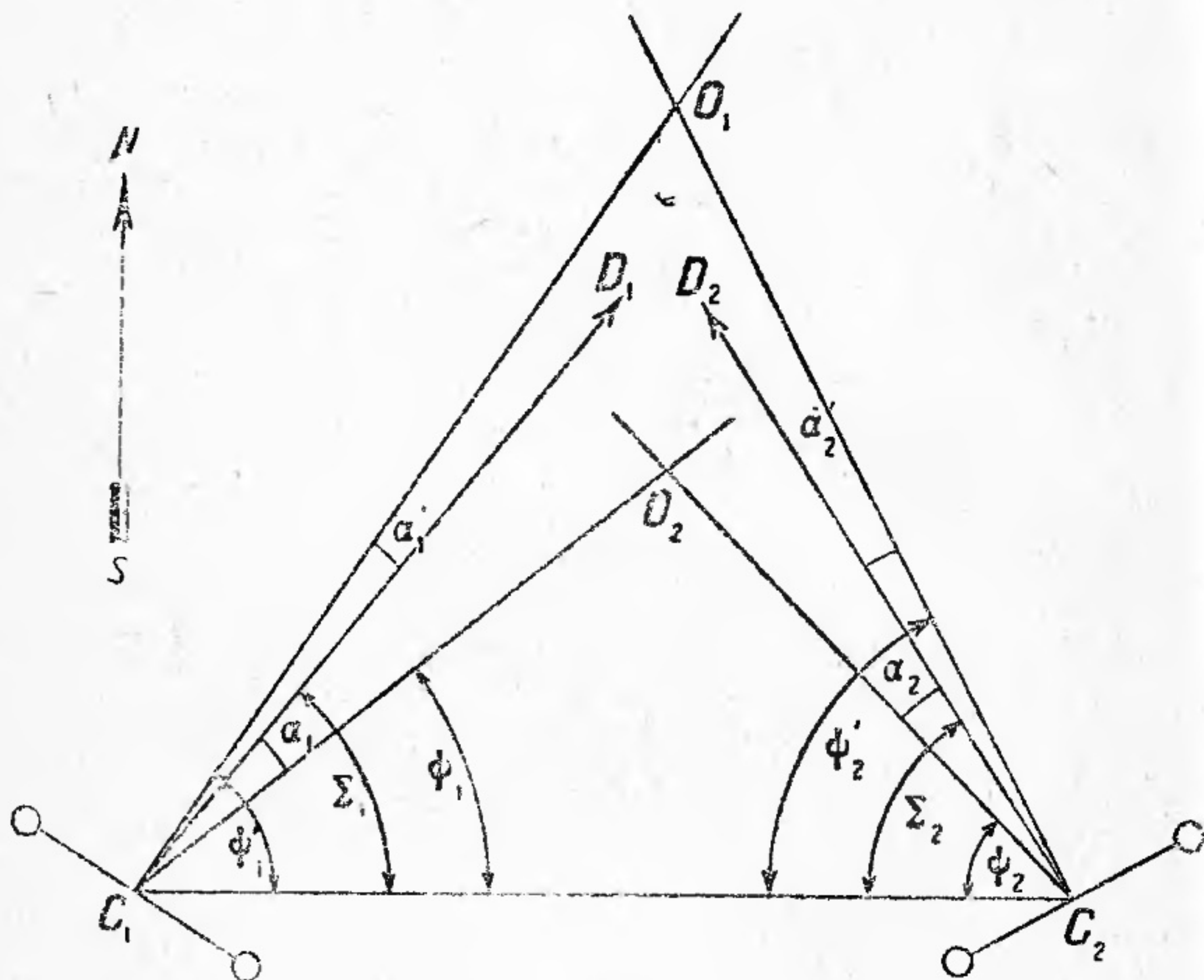
Изложенное позволяет прийти к следующему простому правилу:

Чтобы получить углы при основании треугольника C_1OC_2 , нужно к углам Σ_1 и Σ_2 или прибавить углы α_1 и α_2 , если акустическая база и полученный на ней угол на цель одноименны (т. е. правая база и правый угол или же левая база и левый угол), или вычесть углы α_1 и α_2 , если акустическая база и полученный на ней угол разноименны.

Определив углы ψ_1 и ψ_2 , можно рассчитать угол при вершине O , т. е. угол O , и длину сторон C_1O и C_2O .

Угол O определится из условия:

$$\psi_1 + \psi_2 + O = 180^\circ \quad \text{и} \quad O = 180^\circ - (\psi_1 + \psi_2).$$



Черт. 24.

Для определения же сторон, воспользовавшись теоремой синусов, будем иметь:

$$C_1O = \frac{C_1C_2 \cdot \sin \psi_2}{\sin O}$$

$$C_2O = \frac{C_1C_2 \cdot \sin \psi_1}{\sin O}$$

Для определения координат точки O , вообще говоря, достаточно знать длину какой-либо одной стороны C_1O или C_2O , но для того чтобы иметь возможность проверить сделанные расчеты, нужно расчет координат точки O сделать и по C_1O и по C_2O .

Для определения координат искомой точки воспользуемся формулами вычисления приращения координат:

$$\Delta x = l \cdot \cos r^\circ,$$

$$\Delta y = l \cdot \sin r^\circ,$$

где Δx и Δy есть приращение координат, т. е. величины, показывающие, насколько координаты точки O больше или меньше соответствующих координат точек C_1 или C_2 ; l — длина стороны треугольника, т. е. или C_1O или C_2O , а r° — ее румб.

Следовательно

$$x_0 = x_{c1} \pm \Delta_1 x \quad \text{и} \quad y_0 = y_{c1} \pm \Delta_1 y;$$

точно так же

$$x_0 = x_{c2} \pm \Delta_2 x \quad \text{и} \quad y_0 = y_{c2} \pm \Delta_2 y.$$

Так как в формулы расчета приращений координат входят синус и косинус румба стороны треугольника, то посмотрим, как этот румб может быть рассчитан.

Из рассмотрения черт. 23 можно заключить, что азимут стороны C_1O можно определить, зная азимут директрисы C_1D_1 и угол α_1 . В самом деле, если угол α_1 правый, т. е. сторона C_1O лежит правее директрисы, то азимут C_1O будет больше азимута директрисы на величину α_1 , в том же случае когда угол α_1 левый, то азимут стороны C_1O будет меньше азимута директрисы на величину α_1 .

Таким образом, чтобы определить азимут стороны C_1O , нужно к азимуту директрисы прибавить величину угла α_1 , если этот угол правый, и отнять, если этот угол левый.

Все эти соображения в равной мере относятся и к стороне C_2O и углу α_2 .

Зная же азимут линии, легко перейдем и к ее румбу, для чего воспользуемся приведенной выше зависимостью между румбами и азимутами в различных четвертях круга:

а) если азимут меньше 90° , то румб СВ и численно равен азимуту;

б) если азимут в пределах от 90° до 180° , то румб ЮВ и равен $(180^\circ - Az)$;

в) если азимут в пределах от 180° до 270° , то румб ЮЗ и равен $(Az - 180^\circ)$, и наконец

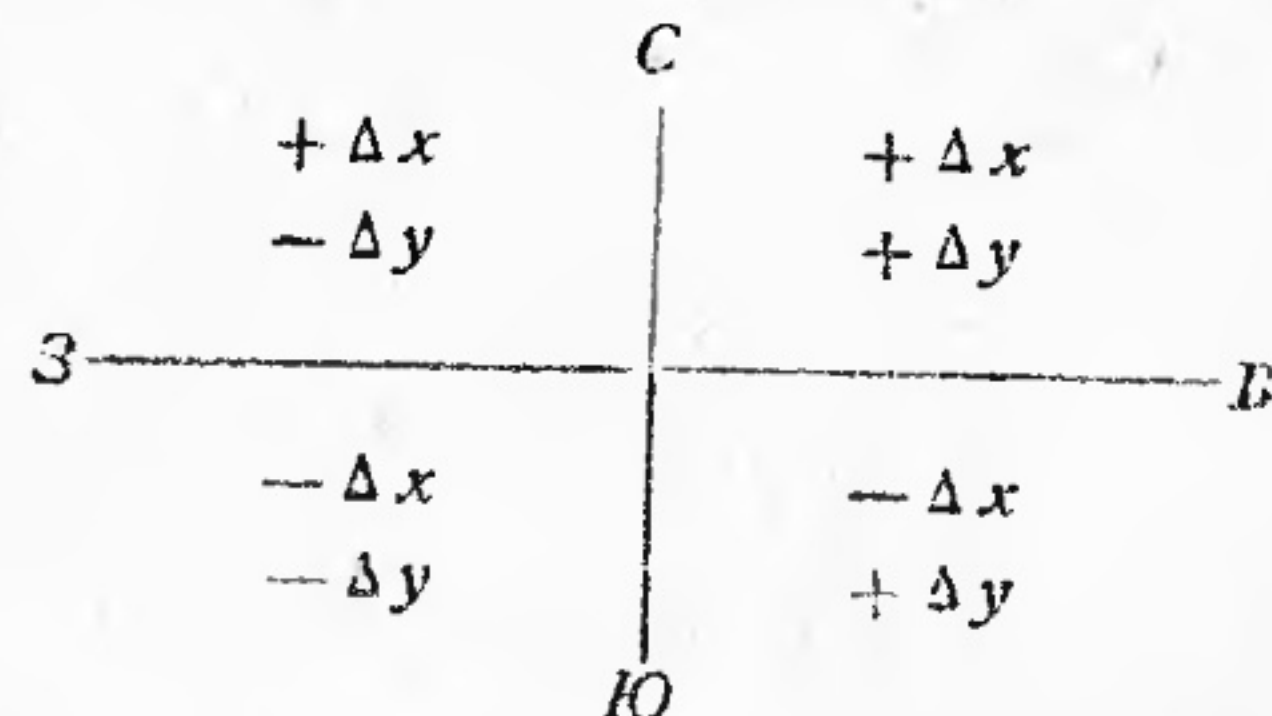
г) если азимут в пределах от 270° до 360° , то румб СЗ и равен $(360^\circ - Az)$.

Так как координаты по иксу в 1-й и 4-й четвертях положительны, а во 2-й и 3-й — отрицательны, то и прира-

щения Δx при румбах линии CB и $CЗ$ будут положительны, а при румбах $ЮВ$ и $ЮЗ$ — отрицательны.

Координаты по игреку, а следовательно и Δy , будут положительны при румбах CB и $ЮВ$ и отрицательны — при румбах $СЗ$ и $ЮЗ$.

Изложенное правило для удобства запоминания можно наглядно представить в виде следующей схемы:



Установив таким образом знаки Δx и Δy , условимся для определения координат точки O всегда приращения координат алгебраически прибавлять к координатам точек C_1 и C_2 .

Вычисления приращения координат удобно располагать по общепринятой схеме:

6	$\Delta y =$
4	$\log \Delta y =$
2	$\log \sin r^\circ =$
1	$\log l =$
3	$\log \cos r^\circ =$
5	$\log \Delta x =$
7	$\Delta x =$

Цифры перед строками показывают порядок вписывания данных.

Складывая 1-е с 3-м, получим $\log \Delta x$ и по логарифму находим Δx . Складывая 1-е и 2-е, получим $\log \Delta y$ и по логарифму Δy .

Знаки приращений установим по названию румбов.

Вычисление приращений координат непосредственно по формулам $\Delta x = l \cdot \cos r^\circ$ и $\Delta y = l \cdot \sin r^\circ$ может быть заменено определением приращений по таблицам Орлова. Описание пользования ими здесь не приводится, так как оно с исчерпывающей полнотой и ясностью изложено в предисловии к таблицам¹⁾.

¹⁾ Проф. П. М. Орлов. Таблицы приращений прямоугольных координат. Гостехиздат, М., 1925 г.

Пример расчета координат цели

Положим, что по данным геодезической подготовки получены координаты: центра левой базы (C_1) $x_1 = 6\,519\,683,5$ и $y_1 = 159\,609,2$; центра правой базы (C_2) $x_2 = 6\,522\,127,8$ и $y_2 = 159\,806,4$.

Азимут директрис левой базы (C_1D_1) $A_{z1} = 278^\circ 24'$ и правой базы (C_2D_2) $A_{z2} = 255^\circ 18'$.

Имея в своем распоряжении эти данные, сделаем всю подготовительную часть вычислений:

1. Определение азимута геодезической базы и направления с точки C_1 на точку C_2 :

$$\operatorname{tg} r^\circ = \frac{159806,4 - 159609,2}{6522127,8 - 6519683,5} = \frac{197,2}{2444,3}.$$

Логарифмируя, будем иметь

$$\log \operatorname{tg} r^\circ = 2,29491 - 3,38815 = \bar{2},90676.$$

По логарифму тангенса ищем угол:

$$r^\circ (CB) = 4^\circ 36' 45''.$$

Румб CB , так как и $(x_2 - x_1)$ и $(y_2 - y_1)$ — положительны. Следовательно и азимут направления геодезической базы с точки C_1 на точку C_2 равен румбу, т. е. $4^\circ 36' 45''$, а обратный азимут базы будет

$$4^\circ 36' 45'' + 180^\circ = 184^\circ 36' 45''$$

2. Вычисление длины геодезической базы:

$$B = \frac{159806,4 - 159609,2}{\sin 4^\circ 36' 45''} = \frac{6522127,8 - 6519683,5}{\cos 4^\circ 36' 45''}.$$

	$B =$	2 452,2
	$\log B =$	3,38956
2	$\log (y_2 - y_1) =$	2,29491
1	$\log \sin r^\circ =$	2,90535
3	$\log \cos r^\circ =$	1,99859
4	$\log (x_2 - x_1) =$	3,38815
	$\log B =$	3,38956
	$B =$	2 452,2

3. Вычисление углов Σ_1 и Σ_2 :

$$\Sigma_1 = 4^\circ 36' 45'' - 278^\circ 24' = 364^\circ 36' 45'' - 278^\circ 24' = 86^\circ 12' 45'';$$

$$\Sigma_2 = 255^\circ 18' - 184^\circ 36' 45'' = 70^\circ 41' 15''.$$

Как уже было сказано, эти предварительные расчеты могут быть проделаны до получения отсчетов на базах.

4. Пусть теперь на левой базе получен угол $\alpha_1 = 12^\circ 8' 16''$ — правый, а на правой базе — угол $\alpha_2 = 5^\circ 20' 36''$ — левый.

Так как акустические базы и полученные на них углы разноименны, то

$$\begin{aligned} \angle \psi_1 &= \Sigma_1 - \alpha_1 = 86^\circ 12' 45'' - 12^\circ 8' 16'' = 74^\circ 4' 29'' \\ \text{и } \angle \psi_2 &= \Sigma_2 - \alpha_2 = 70^\circ 41' 15'' - 5^\circ 20' 36'' = 65^\circ 20' 39''. \end{aligned}$$

Решаем треугольник C_1OC_2 :

$$\begin{aligned} O &= 180^\circ - (74^\circ 4' 29'' + 65^\circ 20' 39'') = 180^\circ - 139^\circ 25' 08'' = \\ &= 40^\circ 34' 52''. \end{aligned}$$

$$\text{Сторона } C_1O = \frac{B \cdot \sin \psi_2}{\sin O};$$

$$C_1O = \frac{2452,2 \cdot \sin 65^\circ 20' 39''}{\sin 40^\circ 34' 52''}.$$

Логарифмируя последнее выражение, будем иметь

$$\log C_1O = 3,38956 + 1,95847 - 1,81326 = 3,53477.$$

Так как при последующих расчетах нам придется иметь дело не со значением длины C_1O , а с ее логарифмом, то для сокращения времени длину C_1O можно и не определять, ограничиваясь нахождением ее логарифма.

5. Азимут направления с точки C_1 на точку O равен: $278^\circ 24' + 12^\circ 8' 16'' = 290^\circ 32' 16''$.

Следовательно румб того же направления согласно приведенных выше указаний будет

$$r^\circ = 360^\circ - 290^\circ 32' 16'' = 69^\circ 27' 44'' \text{ (СЗ)}.$$

Рассчитаем теперь Δx и Δy :

6	Δy	$= -3208,1$
4	$\log \Delta y$	$= 3,50625$
2	$\log \sin r^\circ$	$= 1,97148$
1	$\log l$	$= 3,53477$
3	$\log \cos r^\circ$	$= 1,51509$
5	$\log \Delta x$	$= 3,07986$
7	Δx	$+ 1201,9$

Знаки приращения координат устанавливаем по названию румба СЗ, следовательно Δx будет иметь знак плюс, а Δy — минус.

Прибавляя алгебраически полученные приращения к значениям координат точки C_1 , получим координаты искомой точки O :

$$x_0 = 6519683,5 + 1201,9 = 6520885,4$$

$$\text{и } y_0 = 159609,4 - 3208,1 = 156401,3.$$

Так как расчет приращений координат по стороне C_2O ничем кроме значений отдельных величин от только что рассмотренного отличаться не будет, то и останавливаться на нем не будем.

При наличии 3 акустических баз координаты цели мы рассчитаем по данным для 2 крайних баз и еще по данным для средней базы и одной из крайних; из полученных значений для x и y искомой точки возьмем среднее арифметическое за истинное значение координат цели.

Все вычисления удобно производить, пользуясь журналом, предложенным группой слушателей АКУКС выпуска 1931 г. В приложении 4 приводится этот журнал с решением на нем примером, приведенным в настоящей главе.

ГЛАВА IV.

ПРИСТРЕЛКА ПО ЗВУКУ.

На звукометрические части может быть возложена задача по обслуживанию пристрелки своих батарей по различного рода целям, пристрелять которые другими методами почему-либо в данное время не представляется возможным.

Работа звукобатарей в этом случае заключается в том, чтобы, засекая точки падения снарядов, ведущих пристрелку батарей, дать возможность судить о положении разрывов относительно цели и ввести необходимые корректуры в назначенные установки.

При пристрелке по звуку разрывов могут быть использованы методы:

- а) пристрелка с боковыми наблюдателями по наблюдению знаков отклонений;
- б) пристрелка по измеренным отклонениям точек падений.

В зависимости от цели пристрелка по звуку может быть подразделена на:

- а) пристрелку по звучащей цели;
- б) пристрелку по цели незвучащей.

К звучащим целям будем относить батареи противника, которые ведут огонь в тот период, когда по ним производится пристрелка. К целям незвучащим отнесем батареи, молчащие в период пристрелки по ним, хотя бы положение их и было определено звуковой разведкой, а также все остальные цели, не способные посылать звуковых волн, например железнодорожные узлы, жизненные и оперативные пункты и пр.; однако положение их должно быть точно известно.

Рассмотрим каждый из видов пристрелки по звуку отдельно.

ПРИСТРЕЛКА ПО ЗВУЧАЩЕЙ ЦЕЛИ.

1. Метод пристрелки с боковыми наблюдателями по наблюдению знаков разрывов.

Пусть на акустических базах получаются средние отсчеты на стреляющую батарею: на правой τ_1 левый, а на левой τ_2 правый, т. е. батарея противника находится правее директрисы левой базы и левее директрисы правой базы.

Очевидно, что если бы отсчеты на разрывы снарядов нашей батареи, ведущей огонь по этой цели, в среднем оказались равными τ_1 и τ_2 , то с уверенностью можно было бы сказать, что снаряды ложатся по цели. Следовательно если на базах получаются отсчеты на разрывы, отличные от отсчетов на цель, то это указывает, что разрывы в ту или иную сторону отклонились от цели.

Пусть на правой базе получился от звука разрыва отсчет τ_3 левый, причем $\tau_3 > \tau_1$. Не трудно установить, что в этом случае разрыв произошел левее направления на цель от центра этой базы. В самом деле, как было доказано:

$$\sin \alpha_1 = \frac{\tau_1}{T},$$

и следовательно

$$\sin \alpha_3 = \frac{\tau_3}{T}.$$

Очевидно, что при одном и том же T и при условии $\tau_3 > \tau_1$:

$$\sin \alpha_3 > \sin \alpha_1 \text{ и}$$

$$\alpha_3 > \alpha_1,$$

а так как отсчеты были левые, то следовательно направление на разрыв для этой базы левее направления на цель.

При правых отсчетах отсчет на разрыв, больший, чем на цель, укажет, что для данной базы разрыв отклонился вправо.

По аналогии заключаем, что если отсчеты на разрыв меньше, чем на цель, то для правых отсчетов это укажет, что разрыв левее цели, а для левых—правее.

При небольшом удалении цели от директрисы базы и при значительных отклонениях снарядов от цели может получиться, что отсчеты на цель левые, а на разрыв правые, и наоборот. Совершенно очевидно, что в первом случае мы будем иметь дело с отклонением разрыва вправо от на-

правления центр базы—цель, а во втором—влево от того же направления.

Из всего сказанного следует, что звукобатарея сразу же после разрыва снаряда, сравнивая отсчеты на разрыв с отсчетами на цель, может передать стреляющему свои наблюдения в том же самом виде, как это делают обыкновенные боковые наблюдатели, например: „Правый—влево, левый—верно“, или: „Правый—вправо, левый—верно“ и т. п.

Пользуясь этими показаниями звукобатареи, стреляющий поведет пристрелку по правилам стрельбы с боковыми наблюдателями по наблюдению знаков отклонений и перейдет на поражение тогда, когда обе базы передадут: „Верно“, т. е. когда средние отсчеты на цель и средние отсчеты на разрывы совпадут.

Сам процесс ведения стрельбы с боковыми наблюдателями рассматривать не будем, так как он с исчерпывающей полнотой изложен в правилах стрельбы.

Отметим теперь характерные особенности этого метода пристрелки по звуку.

Проводя пристрелку рассматриваемым методом, нет надобности определять тем или иным способом координаты каждого разрыва или центра их группирования; координаты цели точно так же могут быть неизвестны. Это обстоятельство допускает возможность применения этого метода пристрелки даже в том случае, если не выполнены предварительные топографические работы, что позволяет использовать звукобатарею для обслуживания пристрелки в первые периоды боевых столкновений и в скоротечных операциях.

Считая, что атмосферные условия одинаковы как для распространения дульных волн неприятельских выстрелов, так и для волн от разрывов наших снарядов, при применении этого метода мы освобождаем себя от необходимости введения каких-либо поправок на изменение атмосферных данных, чем упрощаем работу и экономим время.

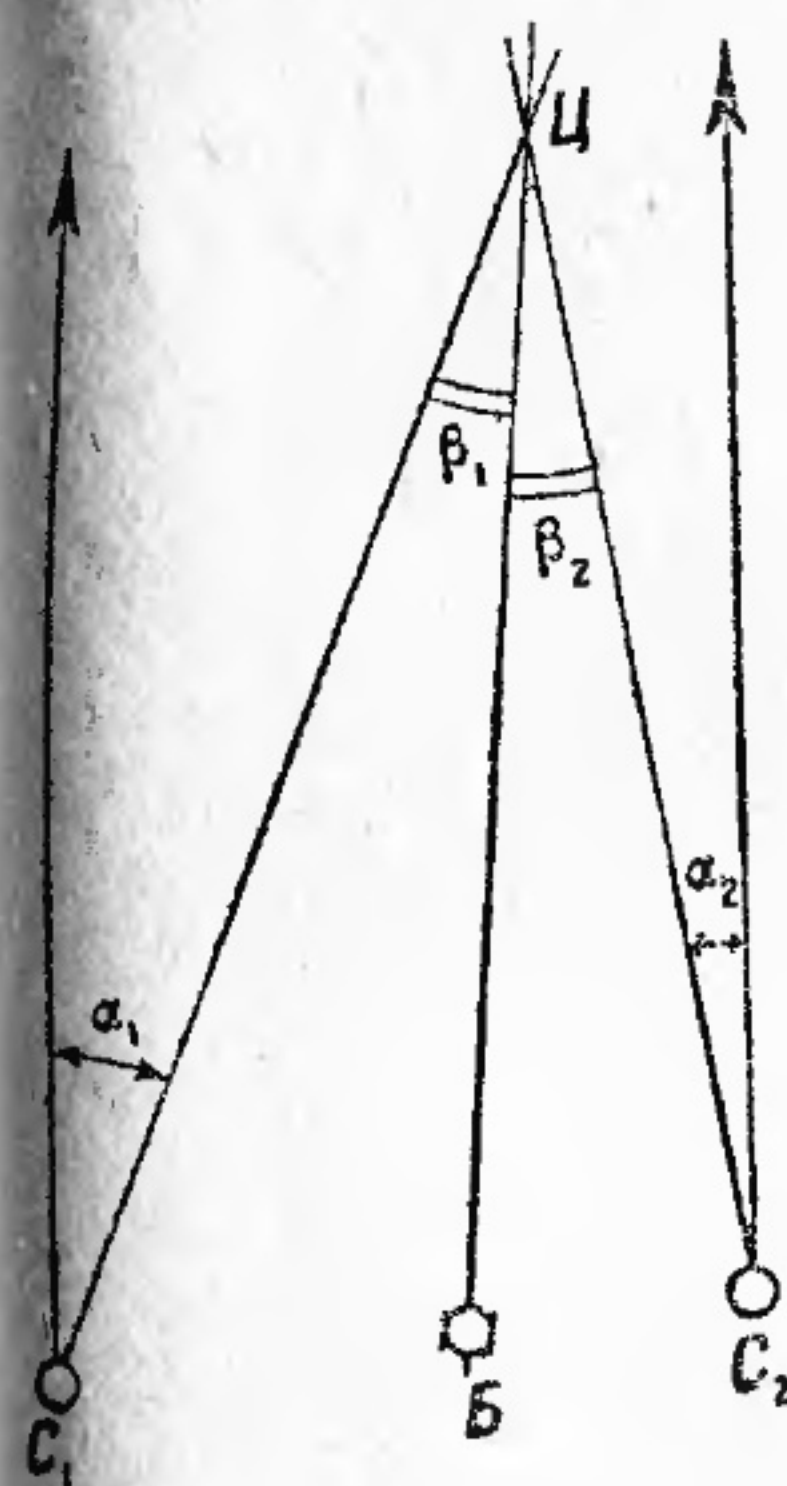
Желательно для пристрелки назначать одну из батарей, расположенную так, чтобы акустические базы находились по обе стороны ее плоскости стрельбы по выбранной цели, так как такое расположение более привычно для стреляющего по правилам стрельбы с боковыми наблюдателями.

2. Пристрелка по измеренным отклонениям точек падений.

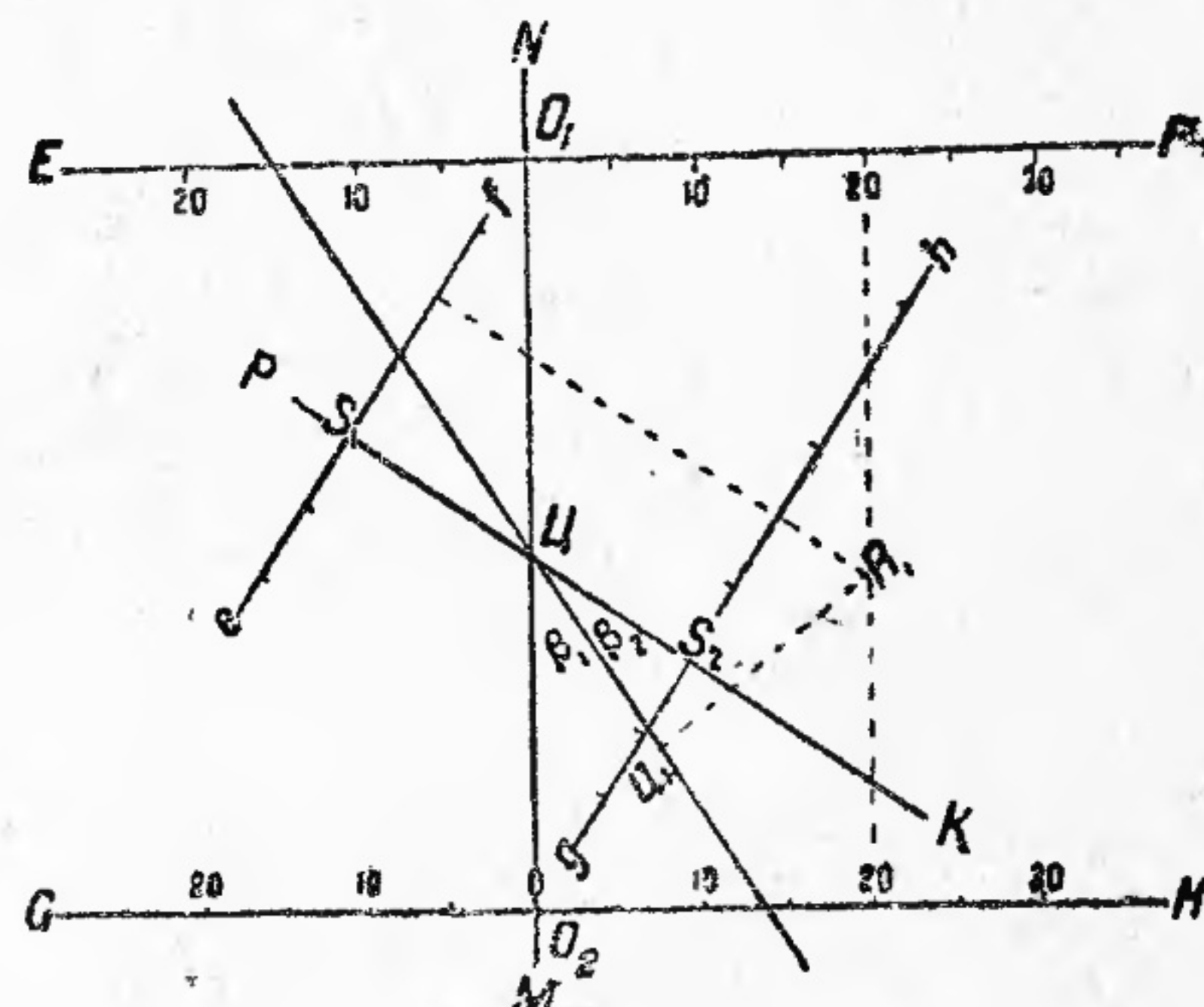
а) Пристрелка с помощью планшета. Этот метод пристрелки по звуку раньше всего предполагает наличие точных сведений о положении цели пристреливающейся

батарей, а также центров акустических баз и направлений их директрис. Следовательно этот вид пристрелки может быть осуществлен лишь тогда, когда все подготовительные топографические работы будут выполнены.

Задачей звукобатареи при обслуживании пристрелки по измеренным отклонениям будет определение отклонений точек падений снарядов от цели как в направлении, так и в дальности, и передача этих сведений стреляющему.



Черт. 25.



Черт. 26.

Работа производится на планшете крупного масштаба, например 20 м в 1 см.

Получив приказание обслужить пристрелку нашей батареи методом измеренных отклонений, звукобатарея по имеющимся у нее данным наносит на свой рабочий планшет (обычно масштаба 250 м в 1 см) цель, а по полученным координатам—и батарею, которая будет пристреливаться. Центры баз и их директрисы также наносятся на планшет. Затем прочерчиваются направления плоскости стрельбы и центры баз—цель, и измеряются составленные этими направлениями с плоскостью стрельбы углы β_1 и β_2 (черт. 25).

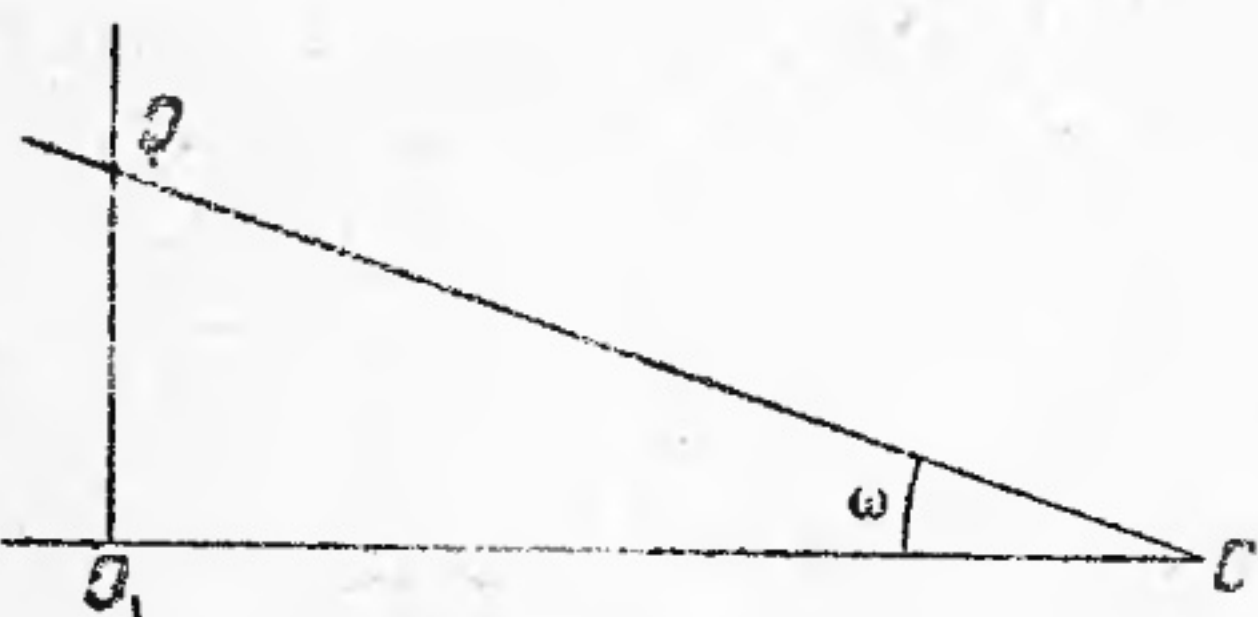
Наносить на этом же планшете разрывы снарядов не представится возможным ввиду мелкого масштаба, а увеличивать его масштаб до 20 м в 1 см неудобно, так как

значительные дистанции до целей потребовали бы планшет очень громоздкий.

Чтобы избежать этих затруднений, поступают следующим образом: берут чистый планшет обыкновенного размера и примерно в середине его наносят цель ($\mathcal{C}$ —черт. 26).

Далее в произвольном направлении, например сверху вниз, прочерчивается прямая, направление которой и принимается за направление плоскости стрельбы нашей батареи.

Углы β_1 и β_2 строятся по таблице хорд или с помощью хордоугломера, и стороны этих углов продолжают за точку $\mathcal{C}$. Очевидно, что, задаваясь для планшета круп-



Черт. 27.

ным масштабом, мы будем лишены возможности нанести на планшет точки C_1 , C_2 и B (черт. 25), так как они просто не уместятся на нем; поэтому наносить точки падения снарядов обычным методом, т. е. построением углов при точках C_1 и C_2 , не удастся. Однако

нанесение положения точек падения не встретит затруднений, если мы сделаем следующие расчеты и построения.

Воспользовавшись циркулем и поперечным масштабом, измерим на планшете (черт. 25) дистанции $C_1\mathcal{C}$ и $C_2\mathcal{C}$; пусть $C_1\mathcal{C}=4000$ м и $C_2\mathcal{C}=4500$ м. Выберем на направлении NM (черт. 26), которое соответствует направлению $C_1\mathcal{C}$, произвольные точки O_1 и O_2 , отстоящие от точки $\mathcal{C}$ на некотором расстоянии, например $\mathcal{C}O_1=5$ см и $\mathcal{C}O_2=4$ см. Задав масштаб 20 м в 1 см, не трудно рассчитать, что точка O_1 находится в удалении 4100 м, а точка O_2 — 3920 м от точки C_1 .

В самом деле: $C_1O_1=C_1\mathcal{C}+\mathcal{C}O_1=4000$ м + 20 м $\times 5=4100$ м и $C_1O_2=C_1\mathcal{C}-\mathcal{C}O_2=4000$ м — 20 м $\times 4=3920$ м. Через точки O_1 и O_2 проведем прямые EF и GH , перпендикулярные NM , и на них построим линейный масштаб боковых отклонений для точки C_1 .

Расчет этого масштаба чрезвычайно прост.

Если при точке C_1 (черт. 27) построить угол $\omega=0.50$ дел. угломера, то O_1Q найдется из соотношения:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{O_1Q}{C_1O_1} \text{ и } O_1Q = C_1O_1 \cdot \operatorname{tg} \omega.$$

Так как $C_1O_1=4100$ м, что в принятом нами масштабе соответствует 205 м, а $\omega=0.50=3^\circ$, то

$$O_1Q = 205 \cdot \operatorname{tg} 3^\circ.$$

Логарифмируя последнее выражение, получим:

$$\log O_1Q = \log 205 + \log \operatorname{tg} 3^\circ$$

или

$$\log O_1Q = 2,31175 + \bar{2},71940 = 0,03115,$$

а $O_1Q=10,44$ см. Разделив O_1Q на 10 равных частей, получим цену 0.05 дел. угломера.

Рассчитаем шкалу до 0.50 (при малых дистанциях до 1.00) и нанесем на прямой EF деления в обе стороны от точки O_1 через 0.05 и, разделив каждое деление на 5 равных частей, получим линейный масштаб боковых отклонений с точностью до 0.01.

Точно таким же порядком подготовим шкалу и для дистанции C_1O_2 и нанесем ее на прямой GH .

Совершенно очевидно, что расчеты шкал для направления PK на дистанции C_2S_1 и C_2S_2 ничем не будут отличаться от только что приведенных.

Чтобы каждый раз не проделывать расчета шкал, полезно подготовить их заранее, сделав расчеты для различных дистанций, например в пределах от 3 до 10 км через каждые 100 м, и нанеся шкалы на линейке из прозрачного целлулоида. Следует только помнить, для какого масштаба подготовлены шкалы, ибо их масштаб обусловит и масштаб планшета. Точки наложения шкал O_1, O_2, S_1 и S_2 придется выбирать с таким расчетом, чтобы дистанции C_1O_1, C_1O_2 и C_2S_1 и C_2S_2 точно соответствовали дистанциям, для которых подготовлены выбранные шкалы.

Подготовив описанным способом пристрелочный планшет, звукобатарей готова к обслуживанию стрельбы.

Целеуказание стреляющему может быть сделано в любой системе координат, после чего он вычисляет исходные данные для стрельбы по методам стрельбы с полной подготовкой и открывает огонь.

Работа звукобатарей в дальнейшем будет заключаться в следующем.

Пусть на базах получились отсчеты на цель τ_1 и τ_2 , а на разрыв первого снаряда соответственно τ' и τ'' . Следует отметить, что вычислять углы α_1 на цель и α_2 на разрыв нет надобности, так как при T близкой к единице и при сравнительно небольших углах α можно принять,

что изменение отсчета на 0,001 сек. изменяет угол на 0-01 дел. угломера. Следовательно разность отсчетов дает нам разность углов от центров баз на цель и на разрыв.

Если для левой базы отсчет на цель (средний) правый 0,450 и на разрыв правый 0,470, то сравнение этих отсчетов позволит нам заключить, что разрыв отклонился от линии центр базы — цель (в нашем примере от линии NM , черт. 26) на 0-20. Отсчитаем по школам EF и GH 0-20 дел. и, приложив к делениям линейку, прочертим прямую „20—20“.

Пусть на правой базе средний отсчет на цель левый 0,380, а на 1-й разрыв левый 0,370, следовательно разрыв отклонился от линии PK вправо на 0-10.

Найдя на шкалах ef и gh деления 0-10 и соединив их прямой, на пересечении этой последней с линией „20—20“ получим место падения первого снаряда в точке R_1 .

Проектируя точку R_1 на плоскость стрельбы, определим, что в данном случае имел место недолет, равный по величине $Ц_1Ц$, и отклонение вправо, равное $Ц_1R_1$. Величины этих отклонений в метрах и передаются стреляющему, который в дальнейшем поведет стрельбу по правилам стрельбы по измеренным отклонениям¹.

По изложенным уже соображениям вычислять и вводить поправки на атмосферные условия в период ведения пристрелки звукобатарея не нужно. Однако это не распространяется на тот период работы, когда определяется положение цели.

Пристрелку следует считать законченной, когда положение разрывов позволит сделать заключение о поражении цели.

При наличии у стреляющего автокорректора для удобства перевода линейных величин в угловые можно положение точки разрыва передавать в полярных координатах, приняв за полюс точку цели и за направление полярной оси направление плоскости стрельбы.

Измерение угла (широта) может быть сделано с помощью целлулоидного круга; буссоль стрельбы в этом случае должна быть известна звукобатарея, а длина радиуса-вектора промеряется масштабной линейкой.

Особенностями рассмотренного метода являются:

- а) большая точность работы;
- б) сравнительно малый расход снарядов;

в) необходимость предварительного производства топографических работ;

б) пристрелка с помощью графика. Ясно, что, сравнивая отсчеты, полученные на цель, с отсчетами на разрыв, и принимая, что изменение отсчета на 0,001 сек. изменяет угол на 0-01 дел. угломера, звукобатарея очень легко может установить, в какую сторону от направления центр базы — цель и на сколько делений угломера отклонился данный снаряд.

Таким образом стреляющий, получив сведения об этих отклонениях, имеет полную возможность вести стрельбу с помощью графика.

Сравнивая между собою все 3 метода пристрелки по звуку по звучащей цели, можно установить:

1. Метод по наблюдению знаков разрывов имеет преимущество перед пристрелкой с помощью планшета то обстоятельство, что не требует никакой предварительной топографической подготовки и планшета, но зато требует большего количества снарядов на пристрелку.

2. Пристрелка по графику, отличаясь простотой и не требуя никакой подготовки, в этом отношении не уступает методу по наблюдению знаков разрывов и имеет преимущество экономии во времени и в количестве снарядов на пристрелку.

3. Сравнивая метод пристрелки по планшету с пристрелкой по графику, установим, что по части организации и простоты обслуживания пристрелки все преимущества на стороне последнего; что же касается точности, то в этом отношении пристрелка по планшету займет первое место.

ПРИСТРЕЛКА ПО НЕЗВУЧАЩИМ ЦЕЛЯМ.

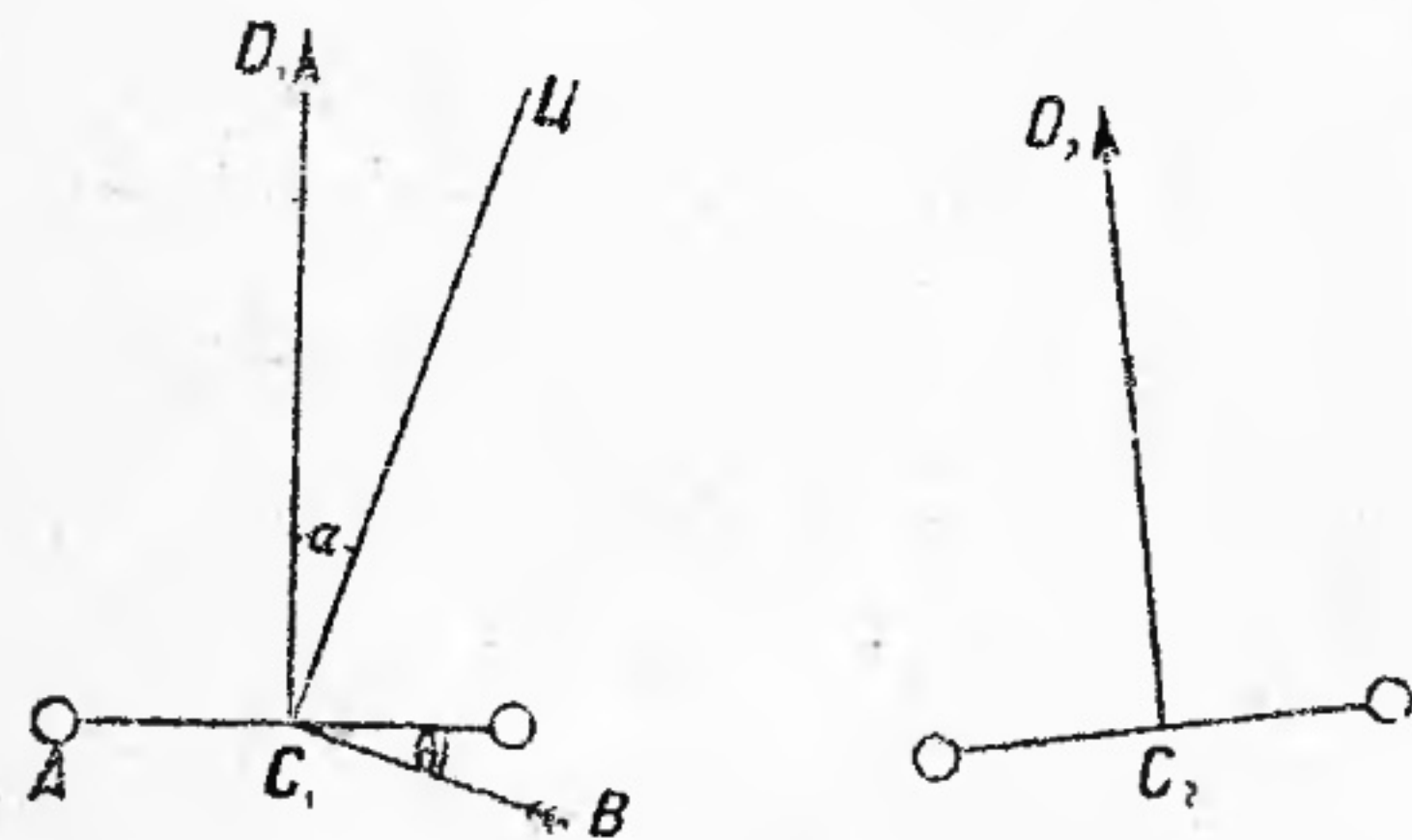
При пристрелке по незвучащим целям вообще говоря можно применять все 3 метода, рассмотренные выше, причем каждый из них будет отличаться от описанного тем, что, не получая фактически отсчетов по цели, звукобатарея должна будет путем расчета установить, какие отсчеты получились бы на ее регистрирующих приборах при данных метеорологических условиях, если бы цель посылала звуковые волны. Для производства этих расчетов нужно раньше всего определить величины углов α_1 и α_n , составленных направлением директрис акустических баз и направлением на цель от их центров.

Очевидно, что определить эти углы можно только в том случае, если известны положение цели, положение центров

¹ Н. А. Бенуа предложил другой способ нанесения точки разрыва на планшет. Описание этого способа здесь не приводится, так как оно изложено в Инструкции для работы звукобатарей. Изд. АУ РККА, 1929 г.

баз и направление их директрис, т. е. когда будет проделана полная топографическая работа на звукобатарее.

Измерение углов α_1 и α_n вопроса об отсчетах еще не решает, так как отсчеты, соответствующие этим углам, получились бы на базах при данных T_1 и T_n только в случае отсутствия ветра. Следовательно нужно рассчитать поправки на ветер (глава II) и ввести их с обратными знаками, тогда получим отсчеты, которые получились бы на базах, если бы цель посылала звуковые волны.



Черт. 28.

Пусть азимут директрисы $C_1D_1=48-00$, $AzW=12-00$, $W=4$ м/сек., $V=340$ м/сек., $T_1=0,960$ и $\eta=10$. Прочертим направление C_1C и измерим угол α_1 ; предположим, что он оказался равным $3-20$. Так как цель от директрисы вправо, то

$$\theta = 12-00 - 3-00 = 9-00$$

и по формуле

$$\sin \Delta_2 \alpha = \frac{W}{V} \cdot \cos (\theta - \alpha) - (1 - q) \cdot \frac{W}{V} \cdot \cos (\theta - \alpha)$$

2-я поправка на ветер:

$$\sin \Delta_2 \alpha = 4 \cdot 0,0024 - 0,01 \cdot 4 \cdot 0,0024 = 0,0096,$$

$$\Delta_2 \alpha = 0-09.$$

Ветер в данном случае относит звуковую волну влево, поэтому угол α получится на $0-09$ меньше:

$$\alpha_1 = 3-20 - 0-09 = 3-11.$$

Рассчитаем теперь 1-ю поправку на ветер по формуле

$$\tau_1 = \tau - \left[\tau \cdot \frac{W}{V} \cdot \sin (\theta - \alpha - \Delta \gamma) \right].$$

Углу $3-11$ при $T_1=0,960$, как это можно видеть из угловых таблиц, соответствует отсчет $0,307$, поэтому

$$0,307 = (\tau - \tau \cdot 0,0064)$$

$$0,307 = 0,9936 \cdot \tau$$

$$\tau = 0,307 : 0,9936 = 0,309.$$

Итак при данных метеорологических условиях отсчет на цель равен $0,309$. Рассчитав таким же порядком отсчет и для другой базы, звукобатарей может обслужить любой из методов пристрелки, и в остальном ее работа ничем не будет отличаться от рассмотренной выше, в отделе пристрелки по звучащей цели.

Работая на длинных акустических базах, мы величину T будем иметь значительно отличающуюся от единицы, так например при базе близкой к 1 км T будет порядка 3 сек.

В этих условиях нельзя считать, что изменение отсчета на $0,001$ сек. изменяет угол α на $0-01$. Следовательно нужно по каждому отсчету находить угол α на разрыв и брать разность углов (что увеличит время пристрелки) или всю работу вести в отсчетах.

В последнем случае нужно подготовить пристрелочный планшет, как было указано выше, против 0 пристрелочных шкал написать средний отсчет, получившийся на цель, и рассчитать отсчеты, которые получились бы при данном T на разрывы, отклонившиеся от цели на тот или иной угол. Например отсчет на цель равен $1,016$ сек., что при $T=2,5$ сек. соответствует углу в $4-00$. Совершенно очевидно, что разрыв, отклонившийся вправо на $0-50$ от цели, дает отсчет, соответствующий при том же T углу в $4-50$ от директрисы базы.

Так как

$$\sin \alpha = \frac{\tau}{T},$$

то:

$$\tau = \sin \alpha \cdot T$$

и для нашего примера $\tau = \sin (4-50) \cdot 2,5$, т. е. $\tau = 0,454 \cdot 2,5 = 1,135$.

Написав против деления $0-50$ пристрелочной шкалы отсчет $1,135$, рассчитаем отсчеты для отклонений в $0-10$; разность отсчета на цель и на разрыв, отклонившийся от цели вправо на $0-50$, будет:

$$1,135 - 1,016 = 0,119.$$

Следовательно при отклонении разрыва от цели на $0-10$ разность отсчетов можно принять равной:

$$\Delta \tau = 0,119 : 5 = 0,0238 \text{ или, округляя } \Delta \tau = 0,024.$$

Итак против деления пристрелочной шкалы 0-10 напишем для отклонений вправо:

$$1,016 + 0,024 = 1,040,$$

а для отклонений влево:

$$1,016 - 0,024 = 0,992$$

и т. д. через 0-10 и 0-05 дел. угломера.

Дальнейшую работу можно вести уже в единицах отсчетов, причем на пристрелочных линейках искать уже не разность углов на цель и на разрыв, а фактически полученный на разрыв отсчет. В дальнейшем работа пойдет, как указано выше.

Для удобства перевода угловых отклонений в единицы отсчета в приложении 5 приводится соответствующая таблица, составленная для баз во времени через 0,1 сек.

Пользование этой таблицей столь просто, что не требует пояснений.

Следует отметить, что основной особенностью пристрелки по звуку будет невозможность благодаря рассеиванию снарядов получить повторные наблюдения на регистрирующих приборах. Это обстоятельство лишает возможности контролировать засечки точек падения снарядов и уточнить работу, откидывая отсчеты, искаженные разного рода случайными причинами.

Поэтому для пристрелки по звуку следует выбирать периоды, в которые наблюдаются благоприятные атмосферные условия (слабый постоянный ветер, большая влажность, термическое постоянство атмосферы).

Пристрелка по звучащей цели имеет то большое преимущество, что, получая отсчеты на цель, звукобатарея имеет возможность наблюдать за их постоянством и тем самым контролировать наличие для работы благоприятных условий. Большой разброс отсчетов на цель будет указывать на наличие неблагоприятных факторов, и в этом случае производить пристрелку по звуку смысла нет из-за малой точности результатов. Очевидно пристрелка по цели незвучащей лишена возможности этого контроля, а потому и точность будет иметь меньшую.

Кроме того, имея совпадение отсчетов на разрывы с отсчетами на цель, т. е. получая „совмещение засечек“ цели и разрывов, мы будем иметь возможность судить о надежности результатов стрельбы. Таким образом все методы

пристрелки по звучащим целям есть методы пристрелки с „совмещением засечек“.

в) Пристрелка со звуковым репером. Так как при пристрелке по незвучащей цели отсутствует какая бы то ни была возможность судить о действительном накрытии цели снарядами, то желательно при каждой к тому возможности пристрелку со звукометрическим обслуживанием проводить с переносом огня от наблюдаемой звучащей цели.

Если вблизи незвучащей цели находится ведущая огонь батарея противника, которая наблюдается например по блескам выстрелов постами оптической разведки, то эта цель и принимается за звуковой репер.

На планшет звукометрического подразделения, обслуживающего стрельбу, наносится репер по данным, полученным от органов оптической разведки, и измеряются углы на репер от директрис обеих баз. Пусть эти углы оказались равными для одной базы $\alpha'_{оп.}$ и $\alpha''_{оп.}$

Пусть теперь по данным звукометрической батареи на репер получились углы $\alpha'_{зв.}$ и $\alpha''_{зв.}$

Разность этих углов $\Delta'\alpha = \alpha'_{оп.} - \alpha'_{зв.}$

и $\Delta''\alpha = \alpha''_{оп.} - \alpha''_{зв.}$

есть очевидно результат допущенных при работе звукобатареи ошибок, которые могут произойти главным образом по причине недостаточно полного учета метеорологических факторов. Полагая, что допущенные ошибки в той же самой степени скажутся и при засечке разрывов по незвучащей цели, мы величины углов $\Delta'\alpha$ и $\Delta''\alpha$ должны учесть при отсчетах по незвучащей цели.

Нанесем незвучащую цель на планшет звукобатареи и измерим углы на нее от директрис обеих баз. Пусть эти углы с введенными в них поправками будут β_1 и β_2 .

Если бы эта цель была звучащая и работа звукобатареи была бы совершенно точна, то мы имели бы дело с отсчетами, соответствующими при данном T углам β_1 и β_2 .

Но так как нами при засечке репера между истинными углами на репер и полученными по данным звуковой засечки уже выявлено расхождение на величины $\Delta'\alpha$ и $\Delta''\alpha$, то надо полагать, что отсчеты на разрывы наших снарядов, накрывающих действительную цель, будут соответствовать не углам β_1 и β_2 , а углам $\beta_1 + \Delta'\alpha$ и $\beta_2 + \Delta''\alpha$.

Вычисления этих отсчетов придется производить уже не по формулам:

$$\tau_1 = \sin \beta_1 \cdot T \text{ и } \tau_2 = \sin \beta_2 \cdot T,$$

$$\tau_1 = \sin(\beta_1 + \Delta'\alpha) \cdot T \text{ и } \tau_2 = \sin(\beta_2 + \Delta''\alpha) \cdot T.$$

Пристрелку по незвучащей цели будем вести до тех пор, пока на разрывы своих снарядов не получим отсчетов τ_1 и τ_2 .

Если вблизи подлежащей обстрелу цели звучащей цели нет, то за звуковой репер может быть принят центр группирования наших снарядов, положенных так, чтобы поста́м оптической разведки было обеспечено наблюдение каждого выстрела группы.

Надежных результатов стрельбы со звуковым репером следует ожидать тогда, когда угловое расстояние между репером — целью не более 3-00 дел. угломера и разность дистанций не более 30%.

К изложенному следует добавить: а) для пристрелки по звуку должны назначаться батареи калибра не менее 152 мм; б) оживленный артиллерийский огонь на участке сильно затруднит пристрелку по звуку, а иногда сделает ее выполнение и просто невозможным.

Касаясь организационной стороны использования звукобатарей для обслуживания пристрелки, необходимо упомянуть, что только прямая и надежная связь с пристреливаемой батареей может обеспечить успех работы и что скорость ведения огня будет зависеть от чисто-технических возможностей звукобатарей. Современные звукометрические станции позволяют установить скорость ведения огня с промежутками в 10 сек.

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ.

ВЫВОД УРАВНЕНИЯ ПРЯМОЙ В ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТАХ.

Положение точки на плоскости может быть зафиксировано в той или иной системе координат.

Координатных систем существует три: прямоугольная или Декартова, косоугольная и полярная.

При всех наших дальнейших определениях точки на плоскости мы будем пользоваться прямоугольной системой координат.

Выражение математической зависимости между координатами точки на плоскости и некоторыми постоянными величинами носит название уравнения той линии, на которой эта точка лежит.

Докажем теперь, что математическая зависимость между координатами любой точки, лежащей на прямой, выражается одним уравнением 1-й степени с двумя переменными (неизвестными) величинами, т.е. всякая прямая линия в прямоугольных координатах выражается уравнением 1-й степени с двумя неизвестными.

Для доказательства этого положения возьмем прямоугольную систему координат и построим произвольную прямую AB (черт. 29).

Взяв из этой прямой любую точку, положим M , построим ее координаты X и Y : $X = OD$ и $Y = MD$.

Из точки N (пересечения нашей прямой с осью абсцисс) построим прямую NK , параллельную оси ординат. Пусть точка C будет точкой пересечения этой прямой с ординатою MD :

Из чертежа видно, что ордината точки M

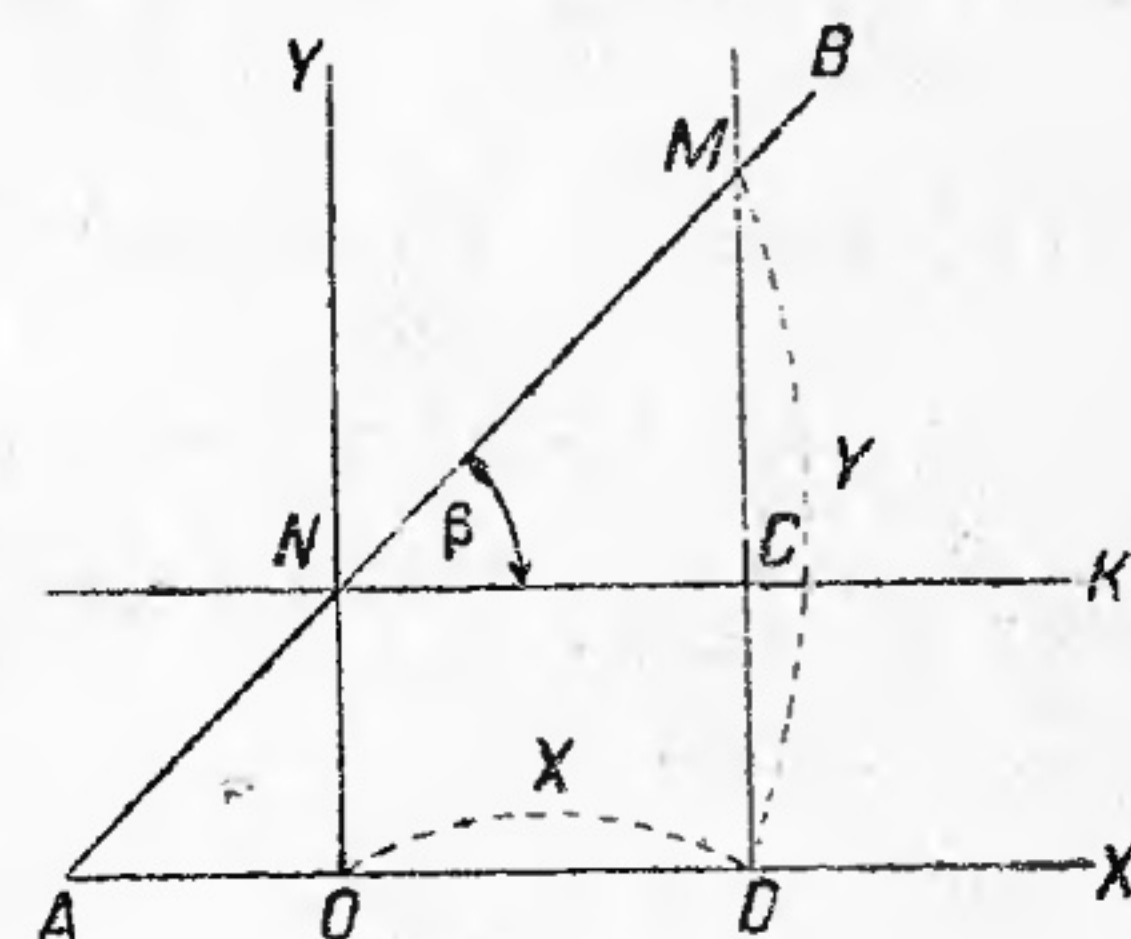
$$Y = MC + CD \dots\dots\dots (42)$$

Величина MC определится из прямоугольного треугольника:

$$MC = NC \cdot \operatorname{tg} \beta,$$

и так как $NC = OD = X$, то, подставляя X в последнее выражение вместо NC , получим

$$MC = X \cdot \operatorname{tg} \beta.$$



Черт. 29

Так как $CD=ON$ (отрезки параллельных между параллельными), то, подставляя в уравнение (42) вместо MC и CD найденные для них значения, будем иметь

$$Y = X \cdot \operatorname{tg} \beta + ON.$$

Обозначив $\operatorname{tg} \beta$ через m и ON через n , окончательно получим

$$Y = X \cdot m + n. \quad (43)$$

Все рассуждения мы вели относительно координат произвольно взятой на прямой AB точки N , значит к такому же выводу мы пришли бы, взяв на любой прямой любую точку.

Уравнение (43) и доказывает принятое положение и носит название уравнения прямой в прямоугольных координатах.

Если положить, как частный случай, что наша прямая проходит через начало координат, тогда в уравнении (43) величина n равна нулю и само уравнение примет вид:

$$Y = X \cdot m.$$

Из изложенного следует, что, имея уравнение 1-й степени с двумя переменными величинами, мы можем в любой прямоугольной системе координат построить прямую, математическая зависимость координат любой точки которой выражена данным уравнением.

Других уравнений прямой рассматривать не будем.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ДВУМЯ ТОЧКАМИ, КОГДА КООРДИНАТЫ ИХ ИЗВЕСТНЫ.

Пусть на плоскости даны точки A и B , координаты которых— $A(X_1, Y_1)$ и $B(X_2, Y_2)$.

Для того чтобы рассчитать расстояние между AB , построим координаты точек A и B (черт. 30) и прямую AC , параллельную оси X .

Из получившегося прямоугольного треугольника ABC имеем:

$$AB^2 = BC^2 + AC^2 \quad (44)$$

Из черт. 30 видно, что $Y_2 - EC = BC$ или

$$BC = Y_2 - Y_1$$

и

$$AC = X_2 - X_1.$$

Подставляя в формулу (44) вместо BC и AC их выражения через координаты наших точек, получим

$$AB^2 = (X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2,$$

откуда:

$$AB = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (45)$$

Так как расстояние между двумя точками—всегда величина положительная, то значение радикала в формуле (45) всегда берется со знаком $+$, почему двойной знак перед корнем и опущен.

Пользуясь формулой (45), можно рассчитать расстояние между любыми двумя точками, если известны их координаты.

О ГИПЕРБОЛЕ.

Гиперболой называется кривая линия, разность расстояний любой точки которой до двух данных точек, лежащих в ее фокусах, есть величина постоянная и равная вещественной оси гиперболы.

Как видно из черт. 31, ветви гиперболы пересекают только горизонтальную ось, почему вертикальная ось и носит название мнимой оси.

Точки A_1 и A_2 пересечения гиперболы с горизонтальной осью называются вершинами гиперболы, а отрезок горизонтальной оси, заключенный между вершинами (на нашем чертеже A_1A_2), есть вещественная ось гиперболы.

Точка O , делящая вещественную ось пополам, называется центром гиперболы.

Точки F_1 и F_2 есть фокусы гиперболы.

Отрезок F_1F_2 носит название фокусного расстояния, а половина фокусного расстояния, прямая OF_2 , есть линейный эксцентриситет гиперболы.

Согласно определения гиперболы разность расстояний MF_1 и MF_2 , любой ее точки M до фокусов F_1 и F_2 , есть величина постоянная и равная вещественной оси A_1A_2 .

Найдем зависимость между координатами любой точки гиперболы, другими словами, выведем ее уравнение.

Примем центр гиперболы O за начало прямоугольной системы координат; тогда направление оси OX совпадет с направлением вещественной оси и осью YO будет мнимая ось гиперболы.

Для удобства вычисления введем следующие обозначения:

$$F_1F_2 = 2c$$

$$\text{и } A_1A_2 = 2a,$$

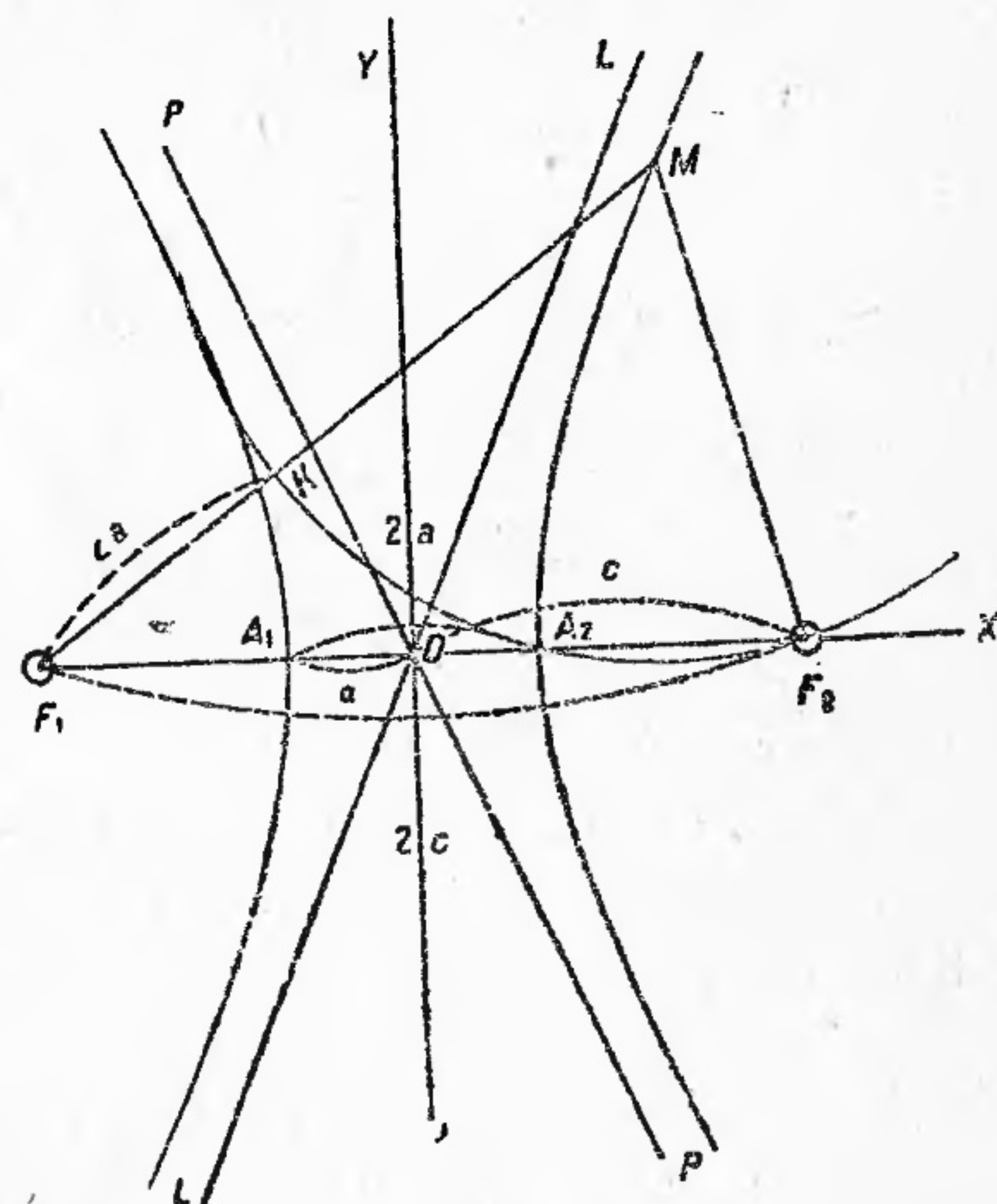
тогда

$$OF_1 = OF_2 = c$$

$$\text{и } OA_1 = AO_2 = a.$$

Возьмем на гиперболе произвольную точку M , тогда по определению гиперболы будем иметь

$$F_1M - F_2M = 2a = \text{const} \quad (46)$$



Черт. 31.

Нами было выведено выше, что расстояние между двумя точками может быть рассчитано по формуле

$$AB = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2},$$

где AB есть расстояние между любыми точками, координаты которых x_1, y_1 и x_2, y_2

Пусть координаты точки M будут:

$$M(x : y).$$

Очевидно, что координаты точки F_1 согласно принятого обозначения будут:

$$F_1(-c : 0),$$

так как точка F_1 лежит на оси иксов, а координаты точки F_2 :

$$F_2(c : 0).$$

Тогда расстояния F_1M и F_2M определяется из формул:

$$F_1M = \sqrt{(x + c)^2 + (y - 0)^2},$$

$$F_2M = \sqrt{(x - c)^2 + (y - 0)^2}.$$

Подставляя в уравнение (46) вместо F_1M и F_2M найденные для них значения, получим

$$\sqrt{(x + c)^2 + y^2} - \sqrt{(x - c)^2 + y^2} = 2a.$$

Возведем в квадрат обе части последнего уравнения:

$$[\sqrt{(x + c)^2 + y^2}]^2 - 2[\sqrt{(x + c)^2 + y^2} \cdot \sqrt{(x - c)^2 + y^2}] + [\sqrt{(x - c)^2 + y^2}]^2 = 4a^2$$

$$(x + c)^2 + y^2 + (x - c)^2 + y^2 - 2\sqrt{[(x + c)^2 + y^2] \cdot [(x - c)^2 + y^2]} = 4a^2.$$

Раскроем скобки в левой части уравнения, сделаем приведение подобных членов и группировку членов подкоренного количества:

$$x^2 + 2xc + c^2 + y^2 + x^2 - 2xc + c^2 + y^2 - 2\sqrt{(x^2 + 2xc + c^2 + y^2) \cdot (x^2 - 2xc + c^2 + y^2)} = 4a^2$$

$$2x^2 + 2c^2 + 2y^2 - 2\sqrt{[(x^2 + c^2 + y^2) + 2xc] \cdot [(x^2 + c^2 + y^2) - 2xc]} = 4a^2.$$

Разделим каждый член уравнения на 2 и перенесем члены, не содержащие корня, в правую часть уравнения:

$$-\sqrt{(x^2 + c^2 + y^2) + 2xc} \cdot [(x^2 + c^2 + y^2) - 2xc] = -x^2 - c^2 - y^2 + 2a^2$$

$$\sqrt{[(x^2 + c^2 + y^2) + 2xc] \cdot [(x^2 + c^2 + y^2) - 2xc]} = (x^2 + c^2 + y^2) - 2a^2.$$

Так как под корнем мы имеем произведение суммы двух количеств на их разность, то сразу можем написать, что это произведение будет равно разности их квадратов, тогда

$$\sqrt{(x^2 + c^2 + y^2)^2 - 4x^2c^2} = (x^2 + c^2 + y^2) - 2a^2.$$

Возведем теперь обе части нашего уравнения в квадрат:

$$(x^2 + c^2 + y^2)^2 - 4x^2c^2 = (x^2 + c^2 + y^2)^2 - 4a^2 \cdot (x^2 + c^2 + y^2) + 4a^4,$$

перенесем все члены из правой части в левую, раскрыв скобки во втором члене правой части:

$$(x^2 + c^2 + y^2)^2 - 4x^2c^2 - (x^2 + c^2 + y^2)^2 + 4a^2x^2 + 4a^2c^2 + 4a^2y^2 - 4a^4 = 0,$$

сделаем приведение подобных членов:

$$-4x^2c^2 + 4a^2x^2 + 4a^2c^2 + 4a^2y^2 - 4a^4 = 0,$$

или, деля на 4:

$$-x^2c^2 + a^2x^2 + a^2c^2 + a^2y^2 - a^4 = 0.$$

Произведем группировку членов и возьмем общие множители за скобки:

$$-x^2(c^2 - a^2) + a^2(c^2 - a^2) + a^2y^2 = 0$$

или

$$a^2(c^2 - a^2) - x^2(c^2 - a^2) + a^2y^2 = 0.$$

Разделим теперь каждый член нашего уравнения на $a^2 \cdot (c^2 - a^2)$:

$$\frac{a^2(c^2 - a^2)}{a^2(c^2 - a^2)} - \frac{x^2(c^2 - a^2)}{a^2(c^2 - a^2)} + \frac{a^2y^2}{a^2(c^2 - a^2)} = 0;$$

произведя сокращения, получим

$$1 - \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{c^2 - a^2} = 0$$

или

$$1 = \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{c^2 - a^2}.$$

Переписывая для удобства последнее уравнение, окончательно будем иметь

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{c^2 - a^2} = 1.$$

Это и есть уравнение гиперболы.

АССИМПТОТЫ ГИПЕРБОЛЫ И ИХ УРАВНЕНИЯ.

Асимптотой гиперболы называется такая прямая, которая проходит через центр гиперболы и может сколько угодно близко подойти к ветви гиперболы, но никогда с нею не пересечется, другими словами, точка их пересечения будет бесконечно удалена от центра гиперболы.

Асимптот у гиперболы 2, и направление их показано на черт. 31 прямыми LL и PP .

Раньше чем приступить к выводу уравнения асимптоты, найдем координаты точки пересечения гиперболы с любой прямой, проходящей через центр гиперболы.

Очевидно, что координаты точки пересечения 2 линий должны удовлетворять уравнениям и той и другой из пересекающихся линий, ибо точка их

пересечения одновременно лежит на каждой из них. Следовательно в нашем случае координаты точки пересечения гиперболы и прямой, проходящей через ее центр, найдутся при совместном решении их уравнений:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{c^2 - a^2} = 1 \quad (47)$$

(уравнение гиперболы);

$$y = m \cdot x \quad (48)$$

(уравнение прямой, проходящей через начало координат).

Подставим вместо y в уравнение (47) его значение из уравнения (48):

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{m^2 \cdot x^2}{c^2 - a^2} = 1.$$

Для удобства вычислений обозначим:

$$c^2 - a^2 = b^2,$$

тогда последнее уравнение примет вид:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{m^2 \cdot x^2}{b^2} = 1.$$

Приведем дроби в левой части к общему знаменателю:

$$\frac{b^2 \cdot x^2 - a^2 m^2 x^2}{a^2 b^2} = 1.$$

Вынося в числителе x^2 за скобку, получим:

$$\frac{x^2 (b^2 - a^2 m^2)}{a^2 b^2} = 1,$$

откуда

$$x^2 = \frac{a^2 b^2}{b^2 - a^2 m^2}$$

$$x = \pm \sqrt{\frac{a^2 b^2}{b^2 - a^2 m^2}} = \pm \frac{a \cdot b}{\sqrt{b^2 - a^2 m^2}} \quad (49)$$

Подставляя вместо x в уравнение (48) его значение из уравнения (49) получим

$$y = \pm \frac{m \cdot a \cdot b}{\sqrt{b^2 - a^2 m^2}} \quad (50)$$

Уравнения (49) и (50) и определяют координаты точки пересечения гиперболы с прямой, проходящей через ее центр.

Следует отметить, что если принять за пересечение гиперболы и асимптоты точку, бесконечно удаленную от центра гиперболы, то координаты этой точки должны также обратиться в бесконечность.

Посмотрим теперь, при каком условии координаты x и y , выраженные уравнениями (49) и (50), обратятся в бесконечность. Очевидно это случится тогда, когда величина $b^2 - a^2 m^2$ обратится в нуль, т. е.

$$b^2 - a^2 m^2 = 0$$

или

$$b^2 = a^2 m^2,$$

откуда

$$m^2 = \frac{b^2}{a^2}$$

и

$$m = \pm \frac{b}{a}.$$

Следовательно при $m = \pm \frac{b}{a}$ координаты точки пересечения гиперболы с прямой, проходящей через центр гиперболы, обратятся в бесконечность, следовательно и само пересечение произойдет в бесконечности, или, что то же самое, наша прямая будет асимптотой.

Итак уравнение асимптоты имеет вид уравнения прямой, проходящей через начало координат (центр гиперболы), в котором

$$m = \pm \frac{b}{a}.$$

Следовательно, подставив в уравнение (48) вместо m равное ему $\pm \frac{b}{a}$, получим уравнение асимптоты:

$$y = \pm \frac{b}{a} \cdot x \quad (51)$$

Так как мы полагали:

$$c^2 - a^2 = b^2,$$

то

$$b = \pm \sqrt{c^2 - a^2} \quad (52)$$

Подставляя в уравнение (51) вместо b равное ему значение из уравнения (52), окончательно получим

$$y = \pm \frac{\sqrt{c^2 - a^2}}{a} \cdot x \quad (53)$$

Двойной знак перед правой частью уравнения (53) показывает, что асимптота пересекает ось абсцисс (вещественную ось гиперболы) и направлена в обе стороны от нее.

Примечание. В таблице величин μ и $\log(1-\mu)$ по техническим причинам в графе $\log(1-\mu)$ во всех случаях характеристика $\bar{I}$ заменена характеристикой 9, т. е. к логарифмам величин $(1-\mu)$ прибавлено 10, что и следует иметь в виду при пользовании таблицей.

ТАБЛИЦА 1

насыщающих паров (влажность 100%) при различной температуре.

t°	Колич. насыщ. паров, в мм	t°	Колич. насыщ. паров, в мм
—20°	0,96	0°	4,58
—19°	1,04	1°	4,98
—18°	1,14	2°	5,29
—17°	1,23	3°	5,69
—16°	1,33	4°	6,10
—15°	1,44	5°	6,54
—14°	1,57	6°	7,01
—13°	1,70	7°	7,51
—12°	1,84	8°	8,05
—11°	2,00	9°	8,61
—10°	2,16	10°	9,21
—9°	2,34	11°	9,84
—8°	2,52	12°	10,52
—7°	2,73	13°	11,23
—6°	2,94	14°	11,99
—5°	3,17	15°	12,79
—4°	3,42	16°	13,63
—3°	3,68	17°	14,53
—2°	3,96	18°	15,48
—1°	4,26	19°	16,48
0°	4,58	20°	17,54
		21°	18,65
		22°	19,83
		23°	21,07
		24°	22,38
		25°	23,76
		26°	25,26
		27°	26,74
		28°	28,35
		29°	30,04
		30°	31,82

$e = e_{\max} \cdot m$

e — абсолют. влажн.

$e_{\max}$ — колич. насыщ. паров при данной t° (100%)

m — относительная влажность.

Пример:

$t^{\circ} = +20; m = 75\%$

$e_{\max} = 17,54$

$e = 17,54 \cdot \frac{75}{100} =$
 $= 13,1550 = 13.$

ТАБЛИЦА 2

для подсчета величины $\frac{e}{n}$.

$\frac{e}{n}$	720	730	740	750	760	770	780	$\frac{e}{n}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1
2	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	2
3	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	3
4	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	4
5	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,006	0,006	5
6	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	6
7	0,010	0,010	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	7
8	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,010	0,010	8
9	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	9
10	0,014	0,014	0,014	0,013	0,013	0,013	0,013	10
11	0,015	0,015	0,015	0,015	0,014	0,014	0,014	11
12	0,017	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,015	12
13	0,018	0,018	0,018	0,017	0,017	0,017	0,017	13
14	0,019	0,019	0,019	0,019	0,018	0,018	0,018	14
15	0,021	0,021	0,020	0,020	0,020	0,020	0,019	15
16	0,022	0,022	0,022	0,021	0,021	0,021	0,021	16
17	0,024	0,023	0,023	0,023	0,022	0,022	0,022	17
18	0,025	0,025	0,024	0,024	0,024	0,023	0,023	18
19	0,026	0,026	0,026	0,025	0,025	0,025	0,024	19
20	0,028	0,027	0,027	0,026	0,026	0,026	0,026	20
21	0,029	0,029	0,028	0,028	0,028	0,027	0,027	21
22	0,031	0,030	0,030	0,029	0,029	0,029	0,028	22
23	0,032	0,032	0,031	0,031	0,030	0,030	0,029	23
24	0,033	0,033	0,032	0,032	0,032	0,031	0,031	24
25	0,035	0,034	0,034	0,033	0,033	0,032	0,032	25
26	0,036	0,036	0,035	0,035	0,034	0,034	0,033	26
27	0,037	0,037	0,036	0,036	0,036	0,036	0,035	27
28	0,039	0,038	0,038	0,037	0,037	0,036	0,036	28
29	0,040	0,040	0,039	0,039	0,038	0,038	0,037	29
30	0,042	0,041	0,041	0,040	0,039	0,039	0,038	30

Т а б
и $\frac{e}{h}$ в м/сек.
скорости зву

t°	$\frac{e}{h}$	0	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050
-20°	319,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-19°	319,75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-18°	320,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-17°	321,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-16°	321,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-15°	322,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-14°	322,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-13°	323,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-12°	324,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-11°	324,75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-10°	325,4	325,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-9°	326,0	326,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-8°	326,6	326,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-7°	327,2	327,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-6°	327,8	328,05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-5°	328,4	328,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-4°	329,05	329,3	329,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-3°	329,7	329,9	330,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-2°	330,3	330,5	330,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-1°	330,9	331,1	331,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0	331,5	331,7	331,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Таблица рассчитана, исходя из $V_0=331,5$ м/сек. Если же за V_0 принять какое-нибудь другое достаточно близкое число V_0' , нужно из найденного по таблице числа вычесть разницу V_0-V_0' . Так например по Эсکلвнтону, Ланденбургу и Ангереру $V_0'=330,8$ м/сек.; чтобы найти $V_{t, \frac{e}{h}}$, нужно из найденной по таблице $V_{t, \frac{e}{h}}$ вычесть разницу V_0-V_0' , равную 0,7 м/сек.

П а 3
и $\frac{e}{h}$ в м/сек.

t°	$\frac{e}{h}$	0	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050
0°	331,5	331,7	331,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1°	332,1	332,3	332,55	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2°	332,7	332,9	333,15	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3°	333,3	333,5	333,75	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4°	333,9	334,1	334,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5°	334,5	334,7	335,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6°	335,1	335,3	335,6	335,8	—	—	—	—	—	—	—	—
7°	335,7	335,9	336,2	336,4	—	—	—	—	—	—	—	—
8°	336,3	336,5	336,8	337,0	—	—	—	—	—	—	—	—
9°	336,9	337,1	337,4	337,6	—	—	—	—	—	—	—	—
10°	337,5	337,7	338,0	338,2	—	—	—	—	—	—	—	—
11°	338,1	338,3	338,55	338,8	—	—	—	—	—	—	—	—
12°	338,7	338,9	339,1	339,4	—	—	—	—	—	—	—	—
13°	339,3	339,5	339,7	340,0	—	—	—	—	—	—	—	—
14°	339,9	340,1	340,3	340,6	—	—	—	—	—	—	—	—
15°	340,5	340,7	340,9	341,15	341,4	—	—	—	—	—	—	—
16°	341,1	341,3	341,5	341,75	342,0	—	—	—	—	—	—	—
17°	341,7	341,9	342,1	342,35	342,6	—	—	—	—	—	—	—
18°	342,25	342,5	342,7	342,9	343,2	—	—	—	—	—	—	—
19°	342,8	343,0	343,3	343,5	343,75	—	—	—	—	—	—	—
20°	343,4	343,65	343,9	344,1	344,35	344,6	—	—	—	—	—	—
21°	344,0	344,2	344,5	344,7	344,9	345,2	—	—	—	—	—	—
22°	344,6	344,8	345,0	345,3	345,5	345,75	—	—	—	—	—	—
23°	345,2	345,4	345,6	345,9	346,1	346,3	—	—	—	—	—	—
24°	345,8	346,0	346,2	346,45	346,7	346,9	347,15	—	—	—	—	—
25°	346,4	346,6	346,8	347,0	347,3	347,5	347,75	—	—	—	—	—
26°	347,0	347,15	347,4	347,6	347,85	348,1	348,3	—	—	—	—	—
27°	347,5	347,7	348,0	348,2	348,4	348,7	348,9	349,15	—	—	—	—
28°	348,1	348,3	348,55	348,8	349,0	349,25	349,5	349,7	—	—	—	—
29°	348,7	348,9	349,1	349,35	349,6	349,8	350,1	350,3	350,55	—	—	—
30°	349,2	349,45	349,7	349,9	350,2	350,4	350,65	350,9	351,1	351,35	351,6	—
31°	349,8	350,0	350,3	350,5	350,7	351,0	351,2	351,5	351,7	351,9	352,2	—
32°	350,4	350,6	350,9	351,1	351,3	351,6	351,8	352,0	352,3	352,5	352,8	—
33°	351,0	351,2	351,4	351,7	351,9	352,1	352,4	352,6	352,9	353,1	353,3	—
34°	351,5	351,8	352,0	352,2	352,5	352,7	353,0	353,2	353,4	353,7	353,9	—
35°	352,1	352,3	352,6	352,8	353,0	353,3	353,5	353,8	354,0	354,2	354,5	—

ТАБЛИЦА 4

величины μ и $\log(1-\mu)$ в зависимости от t° и $\frac{e}{H}$.

$t^\circ \backslash \frac{e}{H}$	0		0,005		0,010	
	μ	$\log(1-\mu)$	μ	$\log(1-\mu)$	μ	$\log(1-\mu)$
— 20°	— 0,0388	0,01652	—	—	—	—
— 19°	— 0,0367	0,01567	—	—	—	—
— 18°	— 0,0347	0,01481	—	—	—	—
— 17°	— 0,0327	0,01396	—	—	—	—
— 16°	— 0,0307	0,01312	—	—	—	—
— 15°	— 0,0287	0,01227	—	—	—	—
— 14°	— 0,0267	0,01143	—	—	—	—
— 13°	— 0,0247	0,01060	—	—	—	—
— 12°	— 0,0227	0,00976	—	—	—	—
— 11°	— 0,0208	0,00893	—	—	—	—
— 10°	— 0,0188	0,00810	— 0,0182	0,00781	—	—
— 9°	— 0,0169	0,00728	— 0,0162	0,00699	—	—
— 8°	— 0,0150	0,00645	— 0,0143	0,00617	—	—
— 7°	— 0,0131	0,00564	— 0,0124	0,00535	—	—
— 6°	— 0,0112	0,00482	— 0,0105	0,00454	—	—
— 5°	— 0,0093	0,00401	— 0,0086	0,00373	—	—
— 4°	— 0,0074	0,00320	— 0,0067	0,00290	— 0,0061	0,00263
— 3°	— 0,0055	0,00240	— 0,0049	0,00211	— 0,0042	0,00182
— 2°	— 0,0037	0,00159	— 0,0030	0,00132	— 0,0023	0,00102
— 1°	— 0,0018	0,00079	— 0,0012	0,00051	— 0,0005	0,00022
0°	0	0	0,0007	9,99971	0,0014	9,99942

$t^\circ \backslash \frac{e}{H}$	0		0,005		0,010	
	μ	$\log(1-\mu)$	μ	$\log(1-\mu)$	μ	$\log(1-\mu)$
0°	0	0	0,0007	9,99971	0,0014	9,99942
1°	0,0018	9,99920	0,0025	9,99891	0,0032	9,99863
2°	0,0037	9,99841	0,0043	9,99813	0,0050	9,99784
3°	0,0055	9,99762	0,0061	9,99734	0,0068	9,99705
4°	0,0073	9,99683	0,0079	9,99654	0,0086	9,99625
5°	0,0090	9,99606	0,0097	9,99577	0,0103	9,99548
6°	0,0108	9,99528	0,0115	9,99499	0,0121	9,99471
7°	0,0126	9,99450	0,0132	9,99421	0,0139	9,99392
8°	0,0143	9,99372	0,0150	9,99344	0,0156	9,99316
9°	0,0161	9,99295	0,0167	9,99267	0,0174	9,99238
10°	0,0178	9,99218	0,0185	9,99190	0,0191	9,99161
11°	0,0196	9,99142	0,0202	9,99113	0,0209	9,99084
12°	0,0213	9,99066	0,0219	9,99037	0,0226	9,99008
13°	0,0230	9,98989	0,0236	9,98961	0,0243	9,98932
14°	0,0247	9,98914	0,0254	9,98885	0,0260	9,98855
15°	0,0264	9,98838	0,0270	9,98810	0,0277	9,98781
16°	0,0281	9,98763	0,0287	9,98734	0,0294	9,98705
17°	0,0298	9,98688	0,0304	9,98659	0,0310	9,98630
18°	0,0314	9,98613	0,0321	9,98585	0,0327	9,98556
19°	0,0331	9,98539	0,0337	9,98510	0,0344	9,98481
20°	0,0347	9,98464	0,0354	9,98436	0,0360	9,98407
21°	0,0364	9,98390	0,0370	9,98362	0,0377	9,98333
22°	0,0380	9,98317	0,0386	9,98288	0,0393	9,98259
23°	0,0396	9,98243	0,0403	9,98215	0,0409	9,98186
24°	0,0413	9,98170	0,0419	9,98141	0,0425	9,98112
25°	0,0429	9,98097	0,0435	9,98068	0,0441	9,98039
26°	0,0445	9,98024	0,0451	9,97996	0,0457	9,97967
27°	0,0461	9,97952	0,0467	9,97923	0,0473	9,97894
28°	0,0477	9,97879	0,0483	9,97851	0,0489	9,97822
29°	0,0492	9,97807	0,0499	9,97779	0,0505	9,97750
30°	0,0508	9,97736	0,0514	9,97707	0,0520	9,97678
31°	0,0524	9,97664	0,0530	9,97636	0,0536	9,97607
32°	0,0539	9,97593	0,0545	9,97564	0,0552	9,97535
33°	0,0555	9,97522	0,0561	9,97493	0,0567	9,97464
34°	0,0570	9,97451	0,0576	9,97422	0,0583	9,97393
35°	0,0585	9,97380	0,0592	9,97352	0,0598	9,97323

θ	$\frac{e}{H}$	0,015		0,020		0,025	
		μ	$\log(1-\mu)$	μ	$\log(1-\mu)$	μ	$\log(1-\mu)$
6°		0,0128	9,99441	—	—	—	—
7°		0,0146	9,99363	—	—	—	—
8°		0,0163	9,99286	—	—	—	—
9°		0,0181	9,99209	—	—	—	—
10°		0,0198	9,99132	—	—	—	—
11°		0,0215	9,99055	—	—	—	—
12°		0,0232	9,98979	—	—	—	—
13°		0,0249	9,98903	—	—	—	—
14°		0,0266	9,98827	—	—	—	—
15°		0,0283	9,98752	0,0290	9,98722	—	—
16°		0,0300	9,98676	0,0307	9,98647	—	—
17°		0,0317	9,98601	0,0324	9,98572	—	—
18°		0,0334	9,98527	0,0340	9,98497	—	—
19°		0,0350	9,98452	0,0357	9,98423	—	—
20°		0,0367	9,98378	0,0373	9,98348	0,0380	9,98319
21°		0,0383	9,98304	0,0390	9,98274	0,0396	9,98245
22°		0,0399	9,98230	0,0406	9,98201	0,0412	9,98171
23°		0,0416	9,98157	0,0422	9,98127	0,0429	9,98098
24°		0,0432	9,98083	0,0438	9,98054	0,0445	9,98024
25°		0,0448	9,98010	0,0454	9,97981	0,0461	9,97951
26°		0,0464	9,97937	0,0470	9,97908	0,0477	9,97879
27°		0,0480	9,97865	0,0486	9,97836	0,0493	9,97806
28°		0,0496	9,97793	0,0502	9,97763	0,0508	9,97734
29°		0,0511	9,97721	0,0518	9,97691	0,0524	9,97662
30°		0,0527	9,97649	0,0533	9,97620	0,0540	9,97590
31°		0,0542	9,97578	0,0549	9,97548	0,0555	9,97519
32°		0,0558	9,97506	0,0564	9,97477	0,0571	9,97447
33°		0,0573	9,97433	0,0580	9,97406	0,0586	9,97376
34°		0,0589	9,97364	0,0595	9,97335	0,0602	9,97305
35°		0,0604	9,97294	0,0611	9,97264	0,0618	9,97235

θ	$\frac{e}{H}$	0,030		0,035		0,040		0,045		0,050	
		μ	$\log(1-\mu)$	μ	$\log(1-\mu)$	μ	$\log(1-\mu)$	μ	$\log(1-\mu)$	μ	$\log(1-\mu)$
24°		0,0451	9,97995	—	—	—	—	—	—	—	—
25°		0,0467	9,97922	—	—	—	—	—	—	—	—
26°		0,0483	9,97849	—	—	—	—	—	—	—	—
27°		0,0499	9,97777	0,0505	9,97747	—	—	—	—	—	—
28°		0,0515	9,97704	0,0521	9,97675	—	—	—	—	—	—
29°		0,0530	9,97632	0,0537	9,97603	0,0543	9,97574	—	—	—	—
30°		0,0546	9,97561	0,0553	9,97531	0,0559	9,97502	0,0565	9,97472	0,0572	9,97442
31°		0,0562	9,97489	0,0568	9,97460	0,0574	9,97431	0,0581	9,97401	0,0588	9,97370
32°		0,0577	9,97418	0,0584	9,97388	0,0590	9,97359	0,0596	9,97329	0,0603	9,97299
33°		0,0593	9,97347	0,0599	9,97317	0,0605	9,97288	0,0612	9,97258	0,0618	9,97228
34°		0,0608	9,97276	0,0614	9,97246	0,0621	9,97217	0,0627	9,97188	0,0634	9,97157
35°		0,0623	9,97205	0,0630	9,97176	0,0636	9,97147	0,0642	9,97117	0,0649	9,97086

Примечание. Эта таблица может быть применена также и для вычисления скорости звука, так как $V_e = \frac{V_0}{1-\mu}$ и следовательно для определения V_e нужно из $\log v_0$ вычесть $\log(1-\mu)$ и по полученному

$\log V_e$ найти V_e .

Если V_0 считать равным 331,5 м/сек., $\log V_0 = 2,52048$; если же V_0 считать равным 330,8 м/сек., $\log V_0 = 2,51957$.

ТАБЛИЦА 5

величина

ДЕЛЕНИЯ УГЛОМЕРА

η	α	0-50	1-00	2-00	3-00	4-00	5-00	6-00	7-00	7-50
1		0-08	0-15	0-29 $\frac{1}{2}$	0-43	0-53 $\frac{1}{2}$	0-61 $\frac{1}{2}$	0-66 $\frac{1}{2}$	0-68 $\frac{1}{2}$	0-68 $\frac{1}{2}$
2		0-01 $\frac{1}{2}$	0-03	0-06 $\frac{1}{2}$	0-09 $\frac{1}{2}$	0-11 $\frac{1}{2}$	0-13	0-15	0-15	0-15
3		0-0 $\frac{1}{2}$	0-01 $\frac{1}{2}$	0-03	0-04	0-05	0-06	0-06 $\frac{1}{2}$	0-06 $\frac{1}{2}$	0-06 $\frac{1}{2}$
4		—	0-01	0-01 $\frac{1}{2}$	0-02	0-03	0-03	0-03 $\frac{1}{2}$	0-04	0-04
5		—	0-0 $\frac{1}{2}$	0-01	0-01 $\frac{1}{2}$	0-02	0-02	0-02	0-02 $\frac{1}{2}$	0-02 $\frac{1}{2}$
6		—	—	0-0 $\frac{1}{2}$	0-01	0-01	0-01 $\frac{1}{2}$	0-01 $\frac{1}{2}$	0-01 $\frac{1}{2}$	0-01 $\frac{1}{2}$
7		—	—	0-0 $\frac{1}{2}$	0-0 $\frac{1}{2}$	0-01	0-01	0-01	0-01	0-01
8		—	—	—	0-0 $\frac{1}{2}$	0-0 $\frac{1}{2}$	0-01	0-01	0-01	0-01
9		—	—	—	—	0-0 $\frac{1}{2}$	0-0 $\frac{1}{2}$	0-0 $\frac{1}{2}$	0-0 $\frac{1}{2}$	0-0 $\frac{1}{2}$
10		—	—	—	—	—	0-0 $\frac{1}{2}$	0-0 $\frac{1}{2}$	0-0 $\frac{1}{2}$	0-0 $\frac{1}{2}$
11		—	—	—	—	—	—	0-0 $\frac{1}{2}$	0-0 $\frac{1}{2}$	0-0 $\frac{1}{2}$

ГРАДУСНАЯ МЕРА

η	α	0°	6°	12°	18°	24°	30°	36°	42°	45°	η
1		0°28'	0°55'	1°47'	2°34'	3°13'	3°41'	4°	4°07'	4°07'	1
2		0°06'	0°12'	0°23'	0°34'	0°42'	0°48'	0°54'	0°55'	0°55'	2
3		0°2,5'	0°05'	0°10'	0°15'	0°18'	0°21'	0°23'	0°24'	0°24'	3
4		—	0°03'	0°05,5'	0°08'	0°10'	0°12'	0°13'	0°13,5'	0°14'	4
5		—	0°02'	0°03,5'	0°05'	0°06,5'	0°07,5'	0°08'	0°08,5'	0°09'	5
6		—	—	0°02,5'	0°03'	0°04,5'	0°05'	0°05,5'	0°05,5'	0°05,5'	6
7		—	—	0°02'	0°02,5'	0°03'	0°03,5'	0°04'	0°04'	0°04'	7
8		—	—	—	0°02'	0°02,5'	0°03'	0°03'	0°03,5'	0°03,5'	8
9		—	—	—	—	0°02'	0°02,5'	0°02,5'	0°02,5'	0°02,5'	9
10		—	—	—	—	—	0°02'	0°02'	0°02'	0°02'	10
11		—	—	—	—	—	—	—	0°02'	0°02'	11

ТАБЛИЦА 6

величина

ДЕЛЕНИЯ УГЛОМЕРА

η	α	0-00	1-00	2-00	3-00	4-00	5-00	6-00	7-00	7-50
1		4-43 $\frac{1}{2}$	4-20 $\frac{1}{2}$	3-98 $\frac{1}{2}$	3-73	3-46 $\frac{1}{2}$	3-18 $\frac{1}{2}$	2-89 $\frac{1}{2}$	2-59 $\frac{1}{2}$	2-44
2		2-34	2-27	2-18	2-07 $\frac{1}{2}$	1-95	1-81 $\frac{1}{2}$	1-66 $\frac{1}{2}$	1-51	1-42
3		1-57 $\frac{1}{2}$	1-54	1-49	1-43	1-35 $\frac{1}{2}$	1-26 $\frac{1}{2}$	1-16 $\frac{1}{2}$	0-96	1-00 $\frac{1}{2}$
4		1-18 $\frac{1}{2}$	1-16 $\frac{1}{2}$	1-13 $\frac{1}{2}$	1-09	1-03 $\frac{1}{2}$	0-97	0-89 $\frac{1}{2}$	0-81 $\frac{1}{2}$	0-77 $\frac{1}{2}$
5		0-95 $\frac{1}{2}$	0-93 $\frac{1}{2}$	0-91	0-88	0-83 $\frac{1}{2}$	0-78 $\frac{1}{2}$	0-73	0-66 $\frac{1}{2}$	0-63
6		0-79 $\frac{1}{2}$	0-78 $\frac{1}{2}$	0-76 $\frac{1}{2}$	0-73 $\frac{1}{2}$	0-70 $\frac{1}{2}$	0-66	0-61 $\frac{1}{2}$	0-56	0-53
7		0-68	0-67	0-65 $\frac{1}{2}$	0-63 $\frac{1}{2}$	0-60 $\frac{1}{2}$	0-57	0-53	0-48 $\frac{1}{2}$	0-46
8		0-59 $\frac{1}{2}$	0-58 $\frac{1}{2}$	0-57 $\frac{1}{2}$	0-55 $\frac{1}{2}$	0-53	0-50	0-46 $\frac{1}{2}$	0-42 $\frac{1}{2}$	0-40 $\frac{1}{2}$
9		0-53	0-5 $\frac{1}{2}$	0-51	0-49 $\frac{1}{2}$	0-47	0-44 $\frac{1}{2}$	0-41 $\frac{1}{2}$	0-38	0-36
10		0-48	0-47	0-46	0-44 $\frac{1}{2}$	0-43	0-40 $\frac{1}{2}$	0-37 $\frac{1}{2}$	0-34 $\frac{1}{2}$	0-32 $\frac{1}{2}$
20		0-24	0-23 $\frac{1}{2}$	0-23 $\frac{1}{2}$	0-22 $\frac{1}{2}$	0-21 $\frac{1}{2}$	0-20 $\frac{1}{2}$	0-19	0-17 $\frac{1}{2}$	0-16 $\frac{1}{2}$

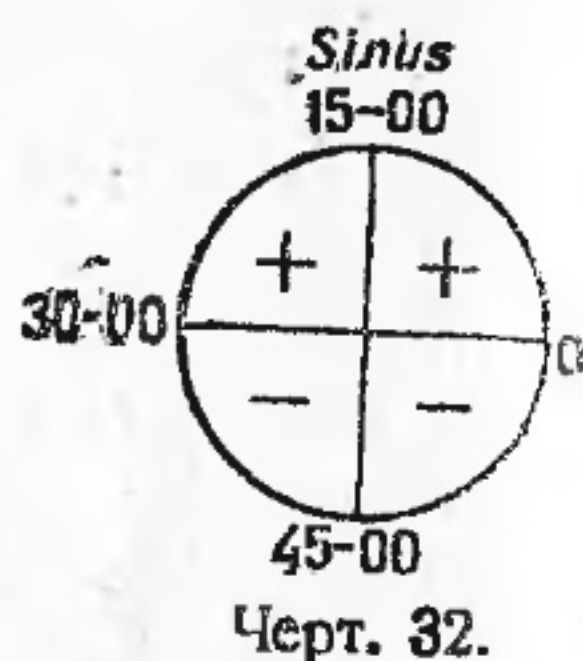
ГРАДУСНАЯ МЕРА

η	α	0°	6°	12°	18°	24°	30°	36°	42°	45°	η
1		26°37'	25°13'	23°54'	22°23'	20°47'	19°06'	17°22'	15°34'	14°38'	1
2		14°02'	13°37'	13°05'	12°27'	11°42'	10°54'	10°00'	9°03'	8°32'	2
3		9°28'	9°15'	8°57'	8°34'	8°07'	7°35'	7°00'	6°21'	6°01'	3
4		7°07'	7°00'	6°48'	6°32'	6°12'	5°49'	5°23'	4°54'	4°39'	4
5		5°43'	5°37'	5°28'	5°16'	5°01'	4°43'	4°22'	3°59'	3°47'	5
6		4°46'	4°42'	4°35'	4°25'	4°13'	3°58'	3°41'	3°21'	3°11'	6
7		4°06'	4°02'	3°56'	3°48'	3°38'	3°25'	3°10'	2°54'	2°45'	7
8		3°34'	3°32'	3°27'	3°20'	3°11'	3°01'	2°48'	2°33'	2°25'	8
9		3°11'	3°10'	3°04'	2°58'	2°50'	2°41'	2°30'	2°17'	2°10'	9
10		2°52'	2°50'	2°46'	2°41'	2°34'	2°25'	2°15'	2°04'	1°57'	10
20		1°26'	1°25'	1°24'	1°21'	1°18'	1°13'	1°08'	1°03'	1°00'	20

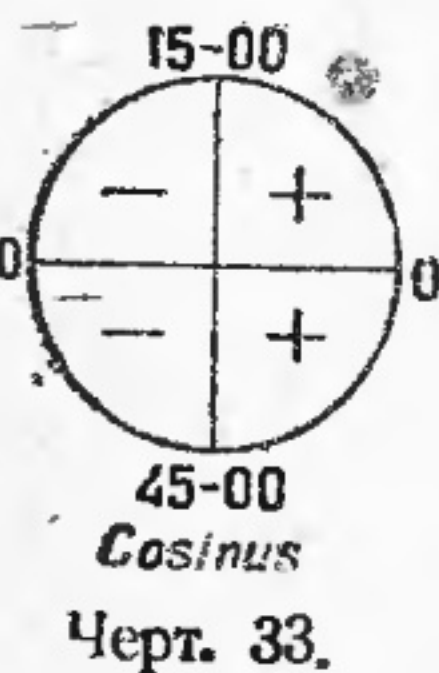
ТАБЛИЦА 7

величин $\frac{W}{V} \cos(\theta - \alpha)$ и $\frac{W}{V} \sin(\theta - \alpha - \Delta\gamma)$ при $W=1$ м/сек.

$(\theta - \alpha)$		$W \cdot \cos(\theta - \alpha)$ при $W=1$ м/сек.					
Град.	Дел. угл.	$V=320$ м/сек.	$V=330$ м/сек.	$V=340$ м/сек.	$V=350$ м/сек.	Град.	Дел. угл.
0°	0-00	0,0031	0,0030	0,0029	0,0029	90°	15-00
6°	1-00	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	84°	14-00
12°	2-00	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	78°	13-00
18°	3-00	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	72°	12-00
24°	4-00	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026	66°	11-00
30°	5-00	0,0027	0,0026	0,0025	0,0025	60°	10-00
36°	6-00	0,0025	0,0025	0,0024	0,0023	54°	9-00
42°	7-00	0,0023	0,0023	0,0022	0,0021	48°	8-00
48°	8-00	0,0021	0,0020	0,0020	0,0019	42°	7-00
54°	9-00	0,0018	0,0018	0,0017	0,0017	36°	6-00
60°	10-00	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	30°	5-00
63°	10-50	0,0014	0,0014	0,0013	0,0013	27°	4-50
66°	11-00	0,0013	0,0012	0,0012	0,0012	24°	4-00
69°	11-50	0,0011	0,0011	0,0011	0,0010	21°	3-50
72°	12-00	0,0010	0,0009	0,0009	0,0009	18°	3-00
75°	12-50	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	15°	2-50
78°	13-00	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	12°	2-00
81°	13-50	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	9°	1-50
84°	14-00	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	6°	1-00
87°	14-50	0,00016	0,00016	0,00015	0,00015	3°	0-50
90°	15-00	0	0	0	0	0°	0-00



$$\sin \Delta_2 \alpha = \frac{W}{V} \cos(\theta - \alpha) \sin(1 - q) \cdot \frac{V}{W} \cos(\theta - \alpha)$$



$V=320$ м/сек.	$V=330$ м/сек.	$V=340$ м/сек.	$V=350$ м/сек.	Град.	Дел. угл.
$\frac{W}{V} \cdot \sin(\theta - \alpha - \Delta\gamma)$ при $W=1$ м/сек.				$(\theta - \alpha - \Delta\gamma)$	

ТАБЛИЦА 8

для нахождения угла $\Delta_2 \alpha$ в делениях угломера по величине $\sin \Delta_2 \alpha$.

Угол $\Delta_2 \alpha$		Sinus угла $\Delta_2 \alpha$	Угол $\Delta_2 \alpha$		Sinus угла $\Delta_2 \alpha$
Деления угломера	Градусная мера		Деления угломера	Градусная мера	
0-01	3',6	0,0010	0-31	1°51',6	0,0324
0-02	7',2	0,0021	0-32	1°55',2	0,0335
0-03	10',8	0,0031	0-33	1°58',8	0,0345
0-04	14',4	0,0042	0-34	2°02',4	0,0356
0-05	18',0	0,0052	0-35	2°06',0	0,0366
0-06	21',6	0,0063	0-36	2°09',6	0,0377
0-07	25',2	0,0073	0-37	2°13',2	0,0387
0-08	28',8	0,0084	0-38	2°16',8	0,0398
0-09	32',4	0,0094	0-39	2°20',4	0,0408
0-10	36',0	0,0105	0-40	2°24',0	0,0419
0-11	39',6	0,0115	0-41	2°27',6	0,0429
0-12	43',2	0,0126	0-42	2°31',2	0,0440
0-13	46',8	0,0136	0-43	2°34',8	0,0450
0-14	50',4	0,0147	0-44	2°38',4	0,0461
0-15	54',0	0,0157	0-45	2°42',0	0,0471
0-16	57',6	0,0168	0-46	2°45',6	0,0482
0-17	1° 1',2	0,0178	0-47	2°49',2	0,0492
0-18	1° 4',8	0,0188	0-48	2°52',8	0,0502
0-19	1° 8',4	0,0199	0-49	2°56',4	0,0513
0-20	1°12',0	0,0209	0-50	3°00',0	0,0523
0-21	1°15',6	0,0220	0-51	3°03',6	0,0534
0-22	1°19',2	0,0230	0-52	3°07',2	0,0544
0-23	1°22',8	0,0241	0-53	3°10',8	0,0555
0-24	1°26',4	0,0251	0-54	3°14',4	0,0565
0-25	1°30',0	0,0262	0-55	3°18',0	0,0576
0-26	1°33',6	0,0272	0-56	3°21',6	0,0586
0-27	1°37',2	0,0283	0-57	3°25',2	0,0597
0-28	1°40',8	0,0293	0-58	3°28',8	0,0607
0-29	1°44',4	0,0304	0-59	3°32',4	0,0617
0-30	1°48',0	0,0314	0-60	3°36',0	0,0628

$$\begin{aligned} \cos[(30-00) - x] &= -\cos x. \\ \cos[(30-00) + x] &= -\cos x. \\ \cos[(60-00) - x] &= \cos x. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin[(30-00) - x] &= \sin x. \\ \sin[(30-00) + x] &= -\sin x. \\ \sin[(60-00) - x] &= -\sin x. \end{aligned}$$

ТАБЛИЦА 9

величин $(1 - q)$.

η \ α_1	0-00	1-00	2-00	3-00	4-00	5-00	7-50
1	-0,12	-0,07	-0,02	0,03	0,08	0,13	0,26
2	-0,03	-0,01	0,02	0,05	0,07	0,10	0,16
3	-0,01	0	0,02	0,04	0,06	0,07	0,11
4	0	0	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
5	0	0	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
6	0	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06
7	0	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
8	0	0	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
9	0	0	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
10	0	0	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03
20	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,02

ТАБЛИЦЫ 10

для определения относительной парциальной упругости водяных паров

по психрометру Ассмана $\frac{e}{H} = \frac{E_{(t_1)}}{H} - \frac{t - t_1}{1510}$.

I. Таблица А.

II. Таблица В.

t_1 град.	H	Показание анероида					
		700	720	740	760	780	800
Показание смоченного термометра	-20	A=0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	-15	02	02	02	02	02	02
	-10	03	03	03	03	03	03
	-5	05	04	04	04	04	04
	0	07	06	06	06	06	06
	1	07	07	07	07	06	06
	2	08	07	07	07	07	07
	3	08	08	08	08	07	07
	4	09	08	08	08	08	08
	5	09	09	09	09	08	08
	6	10	10	09	09	09	09
	7	11	10	10	10	10	09
	8	12	11	11	11	10	10
	9	12	12	12	11	11	11
	10	13	13	12	12	12	12
	11	14	14	13	13	13	12
	12	15	15	14	14	14	13
	13	16	16	15	15	14	14
	14	17	17	16	16	15	15
	15	18	18	17	17	16	16
	16	19	19	18	18	18	17
	17	21	20	20	19	19	18
	18	22	22	21	20	20	19
	19	24	23	22	22	21	21
	20	25	24	24	23	23	22
	21	27	26	25	25	24	23
	22	28	23	27	26	25	25
	23	30	29	29	28	27	26
	24	32	31	30	29	29	28
	25	34	33	32	31	31	30
	26	36	35	34	33	32	32
	27	38	37	36	35	34	33
	28	41	39	38	37	36	35
	29	43	42	41	39	39	38
	30	46	44	43	42	41	40

$t - t_1$ град.	B
0	0,000
1	01
2	01
3	02
4	03
5	03
6	04
7	05
8	05
9	06
10	07
11	07
12	08
13	09
14	09
15	10
16	10
17	11
18	12
19	13
20	13

$$\frac{e}{H} = A - B$$

$$A = \frac{E_{t_1}}{H}$$

$$B = \frac{t - t_1}{1510}$$

Относительная парциальная упругость $\frac{e}{H}$ равна разности между числом A , находимым из 1-й таблицы, и числом B , находимым из 2-й таблицы.

Пример: показание анероида $H=759,0$ мм; сухого термометра $t=+17^{\circ},7$; смоченного $t_1=+9^{\circ},6$; разности сухого и смоченного $t - t_1 = 17,7 - 9,6 = 8^{\circ},1$

Относительная парциальная упругость $\frac{e}{H} = 0,012 - 0,005 = 0,007$.

для вычисления поправок на ветер.

База №		(x = ; y =)	
12 августа 1931 г.			
$2C =$	321	$\log 2C =$	2,50651
$V_0 =$	331,5	$\log V_0 =$	2,52048
$e = 8 \text{ мм}$	$\frac{e}{H} = 0,011$	$\lg T_0 =$	1,98603
$H = 760 \text{ мм}$			
$\varphi = +12^\circ$	$\lg(1 - \mu) \rightarrow$		1,99008
$\tau =$	0,325	$\log \tau =$	1,51188
$V_{t, \frac{e}{H}} =$	339,1 м/сек.	$\log T_{t, \frac{e}{H}} =$	1,97611
$T_{t, \frac{e}{H}} =$		$\log \sin \alpha =$	1,53577
		$\tau =$	
		$\log T_{t, \frac{e}{H}} =$	1,97611
		$\log \sin \alpha_1 =$	1,53309
		$\frac{1}{V} \cos(\theta - \alpha_1) =$	0,0029
		$\sin \Delta_2 \alpha =$	0,0225
		$\Delta_2 \alpha =$	1°14'

Азимут директ.		Азимут ветра	
38-00 + 15-00 азимут правый		32-00 192°	
α	$\Delta \gamma$	0 =	
20°5' + 5°11'		25°16'	
$\frac{1}{V} \sin(\theta - \alpha - \Delta \gamma)$	$\pm 0,0007$	$(\theta - \alpha - \Delta \gamma) =$	
Умнож. на $W = \text{м/сек.}$		166°44'	
Итог	+	0,0056	
Умнож. на $\tau = 0,325$		280 112 168	
$\tau = 0,325$	—	0,0018200	
$\tau_1 = 0,323$			
Азимут левый		25-00	
38-00 + 15-00 азимут правый		53-00	
α		0 =	
20°5' + 5°11'		25°16'	
$\frac{1}{V} \sin(\theta - \alpha - \Delta \gamma)$	$\pm 0,0007$	$(\theta - \alpha - \Delta \gamma) =$	
Умнож. на $W = \text{м/сек.}$		166°44'	
Итог	+	0,0056	
Умнож. на $\tau = 0,325$		280 112 168	
$\tau = 0,325$	—	0,0018200	
$\tau_1 = 0,323$			

ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ №

расчета координат цели.

Район

12 августа 1931 г. 0 час. 00 мин.

	y	x
$C_2 =$	159 806,4	6 522 127,8
$C_1 =$	-159 609,2	-6 519 683,5
$y_2 - y_1 =$	+ 197,2	$x_2 - x_1 = + 2 444,3$
7. $\lg C_1 C_2 =$	3,38956	
1. $\lg y_2 - y_1 =$	—	2,29491
5. $\lg \sin r =$	—	2,90535
2. $\lg x_2 - x_1 =$	—	3,38815
6. $\lg \cos r =$	—	1,99859
7. $\lg C_1 C_2 =$	3,38956	
3. $\lg \lg r =$	2,90676	
4. $r C_1 C_2 =$	CB: 4°36'45"	
$Az C_1 C_2 =$	4°36'45"	$\pm 180^\circ = Az = C_2 C_1 = 184^\circ 36' 45''$
$Az D_1 \dots$	278°24'	

$\Sigma_1 = 86^\circ 12' 45''$

$\Sigma_2 = 70^\circ 41' 15''$

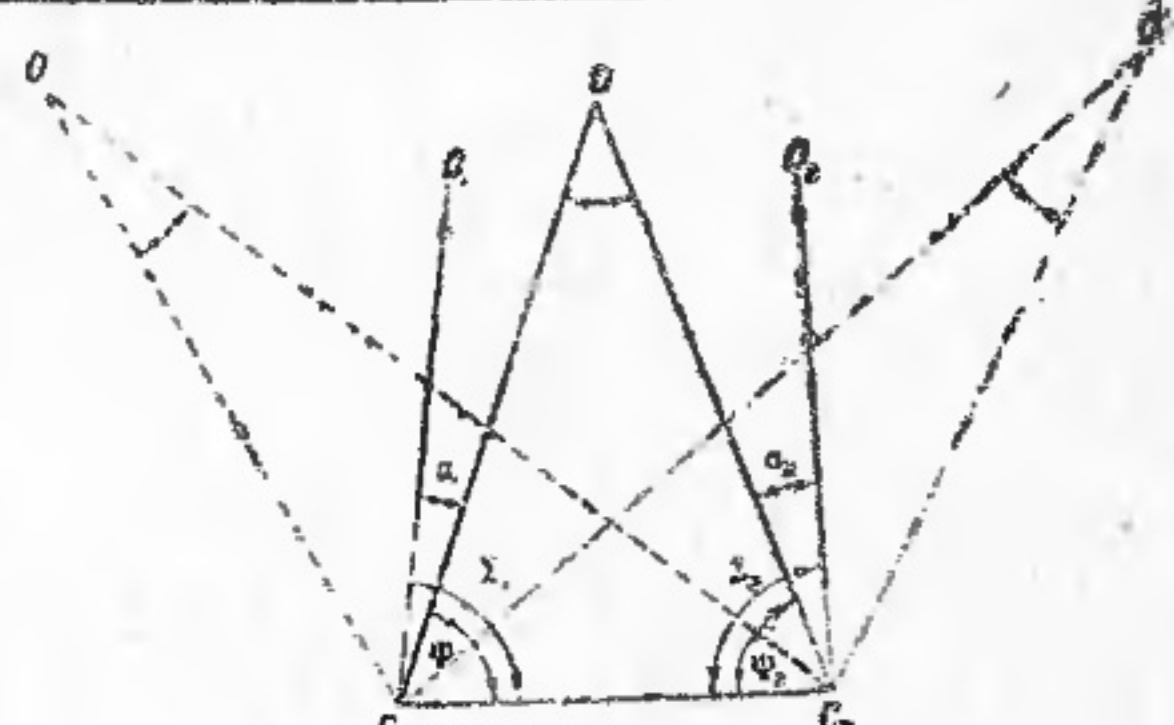
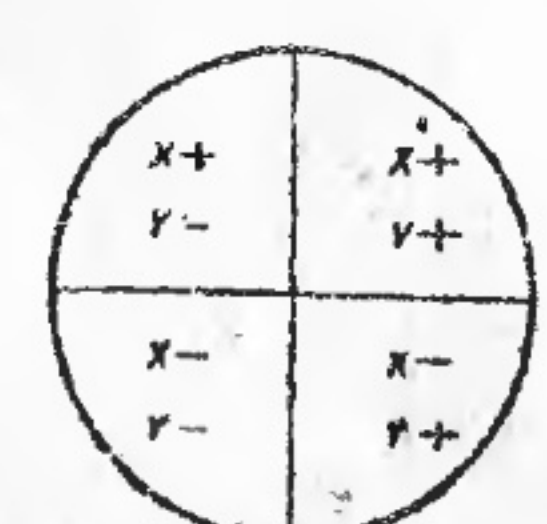
Вычислял:

ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ №

расчета координат цели.

Район

12 августа 1931 г. 0 час. 00 мин.

$\Sigma_1 =$	86°12'45"	$\Sigma_2 =$	70°41'15"	
$d_1 \begin{cases} \text{пр.} = \\ \text{лев.} = \end{cases}$	$\begin{cases} -12^\circ 8'16'' \\ + \end{cases}$	$d_2 \begin{cases} \text{пр.} = \\ \text{лев.} = \end{cases}$	$\begin{cases} + \\ -5^\circ 20'36'' \end{cases}$	180°
$\Psi_1 =$	74° 4'29" +	$\Psi_2 =$	65°20'39" =	$\frac{139^\circ 25'8''}{\angle O = 40^\circ 34'52''}$
1. $\lg C_1 C_2 =$	+	3,38956	 Черт. 35.	
2. $\lg \sin \Psi =$	+	1,95847		
3.	—	3,34803		
4. $\lg \sin \angle O =$	—	1,81326		
5. $\lg CO =$		3,53477		
$Az D =$	278°24'	4. $\lg \Delta y =$	3,50625	$\Delta y = -3 208,1$
$\alpha \begin{cases} \text{пр.} = \\ \text{лев.} = \end{cases}$	$\begin{cases} +12^\circ 8'16'' \\ - \end{cases}$	2. $\lg \sin r =$	1,97148	+ $y = 159 609,4$
$Az CO =$	290°32'16"	1. $\lg CO =$	3,53477	$y_u = 156 401,3$
$r CO =$	C. 3: 69°27'44"	3. $\lg \cos r =$	1,54509	
 Черт. 34.		4. $\lg \Delta x =$	3,07986	$\Delta x = +1 201,9$
		$\Delta y = CO \cdot \sin r CO$ $\Delta x = CO \cdot \cos r CO$		+ $x = 6 519 683,5$
				$x_u = 6 520 885,4$

Вычислял:

Т А Б Л И Ц А

для перевода угловых отклонений в единицы борта при звукометрическом обслуживании стрельбы.

$\alpha \backslash T$		1,0		1,1		1,2		1,3		1,4		1,5		1,6		1,7		1,8		1,9		2,0		$T \backslash \alpha$		
Град.	Дел. угл.	τ	$\Delta\tau$	τ	$\Delta\tau$	τ	$\Delta\tau$	τ	$\Delta\tau$	τ	$\Delta\tau$	τ	$\Delta\tau$	τ	$\Delta\tau$	τ	$\Delta\tau$	τ	$\Delta\tau$	τ	$\Delta\tau$	τ	$\Delta\tau$	Град.	Дел. угл.	
0°	0-00	0	105	0	115	0	125	0	136	0	146	0	157	0	167	0	178	0	188	0	199	0	209	0°	0-00	
6°	1-00	105		115		125		136		146		157		167		178		188		199		209		6°	1-00	
			51		57		63		67		73		77		83		88		94		98		104		9°	1-50
9°	1-50	156		172		188		203		219		235		250		266		282		297		313		12°	2-00	
			52		56		62		67		72		77		83		87		92		98		103		12°	2-00
12°	2-00	208		228		250		270		291		312		333		353		374		395		416		15°	2-50	
			51		56		61		66		71		77		81		87		92		97		102		15°	2-50
15°	2-50	239		284		311		336		362		388		414		440		466		492		518		18°	3-00	
			50		56		60		66		71		77		80		85		90		95		100		18°	3-00
18°	3-00	309		340		371		402		433		464		494		525		556		587		618		21°	3-50	
			49		54		59		64		69		74		79		84		89		94		99		21°	3-50
21°	3-50	358		394		430		466		502		538		573		609		645		681		717		24°	4-00	
			49		53		58		63		67		72		78		82		87		92		96		24°	4-00
24°	4-00	407		447		488		529		569		610		651		691		732		773		813		27°	4-50	
			47		52		57		61		67		71		75		81		85		90		95		27°	4-50
27°	4-50	454		499		545		590		636		681		726		772		817		863		908		30°	5-00	
			46		51		55		60		64		69		74		78		83		87		92		30°	5-00
30°	5-00	500		550		600		650		700		750		800		850		900		950		1 000		33°	5-50	
			45		49		54		58		63		67		71		76		80		85		89		33°	5-50
33°	5-50	545		599		654		708		763		817		871		926		980		1 035		1 089		36°	6-00	
			43		47		51		56		60		65		70		73		78		82		87		36°	6-00
36°	6-00	588		646		705		764		823		882		941		999		1 058		1 117		1 176		39°	6-50	
			41		46		50		54		58		62		66		71		76		79		83		39°	6-50
39°	6-50	629		692		755		818		881		944		1 007		1 070		1 133		1 196		1 259		42°	7-00	
			40		44		48		52		56		60		64		67		71		75		79		42°	7-00
42°	7-00	669		736		803		870		937		1 004		1 071		1 137		1 204		1 271		1 338		45°	7-50	
			38		42		46		49		53		57		60		65		69		73		76		45°	7-50
45°	7-50	707		778		849		919		990		1 061		1 131		1 202		1 273		1 344		1 414				

$\alpha \backslash T$		2,1		2,2		2,3		2,4		2,5	
Град.	Дел. угл.	τ	$\Delta\tau$	τ	$\Delta\tau$	τ	$\Delta\tau$	τ	$\Delta\tau$	τ	$\Delta\tau$
0°	0-00	0	220	0	230	0	240	0	251	0	261
6°	1-00	220		230		240		251		261	
			109		114		120		124		130
9°	1-50	329		344		360		375		391	
			108		113		118		124		129
12°	2-00	437		457		478		499		520	
			106		112		117		122		127
15°	2-50	543		569		595		621		647	
			106		111		116		121		126
18°	3-00	649		680		711		742		773	
			104		108		113		118		123
21°	3-50	753		788		824		860		896	
			101		107		112		116		120
24°	4-00	854		895		936		976		1 016	
			99		104		108		114		119
27°	4-50	953		999		1 044		1 090		1 135	
			97		101		106		110		115
30°	5-00	1 050		1 100		1 150		1 200		1 250	
			94		98		103		107		112
33°	5-50	1 144		1 198		1 253		1 307		1 362	
			90		95		99		104		107
36°	6-00	1 234		1 293		1 352		1 411		1 469	
			87		92		95		101		104
39°	6-50	1 321		1 385		1 447		1 510		1 573	
			84		87		92		96		100
42°	7-00	1 405		1 472		1 539		1 606		1 673	
			80		84		87		91		95
45°	7-50	1 485		1 555		1 626		1 697		1 768	

2,6		2,7		2,8		2,9		3,0		$T \backslash \alpha$	
τ	$\Delta\tau$	τ	$\Delta\tau$	τ	$\Delta\tau$	τ	$\Delta\tau$	τ	$\Delta\tau$	Град.	Дел. угл.
0	272	0	282	0	293	0	303	0	313	0°	0-00
272		282		293		303		313		6°	1-00
	135		140		145		151		156		
407		422		438		454		469		9°	1-50
	134		139		144		149		155		
541		561		582		603		624		12°	2-00
	132		138		143		148		153		
673		699		725		751		777		15°	2-50
	130		135		140		145		150		
803		834		865		896		927		18°	3-00
	128		134		138		143		148		
931		968		1 003		1 039		1 075		21°	3-50
	126		130		136		140		145		
1 057		1 098		1 139		1 179		1 220		24°	4-00
	123		128		132		138		142		
1 180		1 226		1 271		1 317		1 362		27°	4-50
	120		124		129		133		138		
1 300		1 350		1 400		1 450		1 500		30°	5-00
	116		120		125		129		134		
1 416		1 470		1 525		1 579		1 634		33°	5-50
	112		117		121		126		129		
1 528		1 587		1 646		1 705		1 763		36°	6-00
	108		112		116		120		125		
1 636		1 699		1 762		1 825		1 888		39°	6-50
	104		107		112		115		119		
1 740		1 806		1 874		1 940		2 007		42°	7-00
	98		103		106		111		114		
1 838		1 909		1 980		2 051		2 121		45°	7-50

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	<i>Стр.</i>
Введение	4
Глава I. Краткие сведения из акустики	10
Дульные волны	14
Балистические волны	19
Глава II. Метод разности времен	23
Поправка на дистанцию	37
Влияние ветра на распространение звуковых волн	47
Глава III. Определение координат цели по данным звуковой разведки	68
Глава IV. Пристрелка по звуку	78
Пристрелка по звучащей цели	79
Пристрелка по незвучащим целям	85
Приложение 1. Некоторые сведения из аналитической геометрии	91
Вывод уравнения прямой в прямоугольных координатах	91
Определение расстояния между двумя точками, когда координаты их известны	92
О гиперболе	93
Асимптоты гиперболы и их уравнение	95
Приложение 2. Таблицы 1—10	98
Приложение 3. Форма журнала для вычисления поправок на ветер	112
Приложение 4. Форма журнала для расчета координат цели	114
Приложение 5. Таблица для перевода угловых отклонений в единицы отсчета при звукометрическом обслуживании стрельбы	116