

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. проф. Н. Е. Жуковского

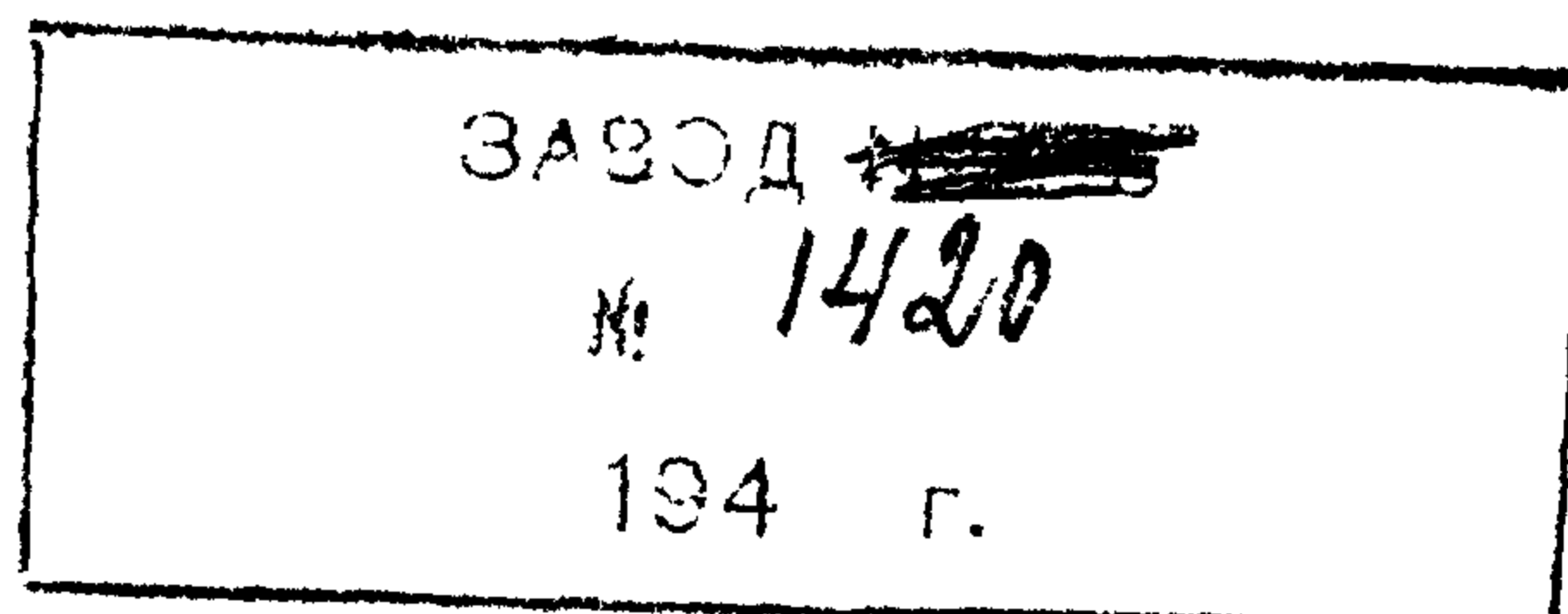
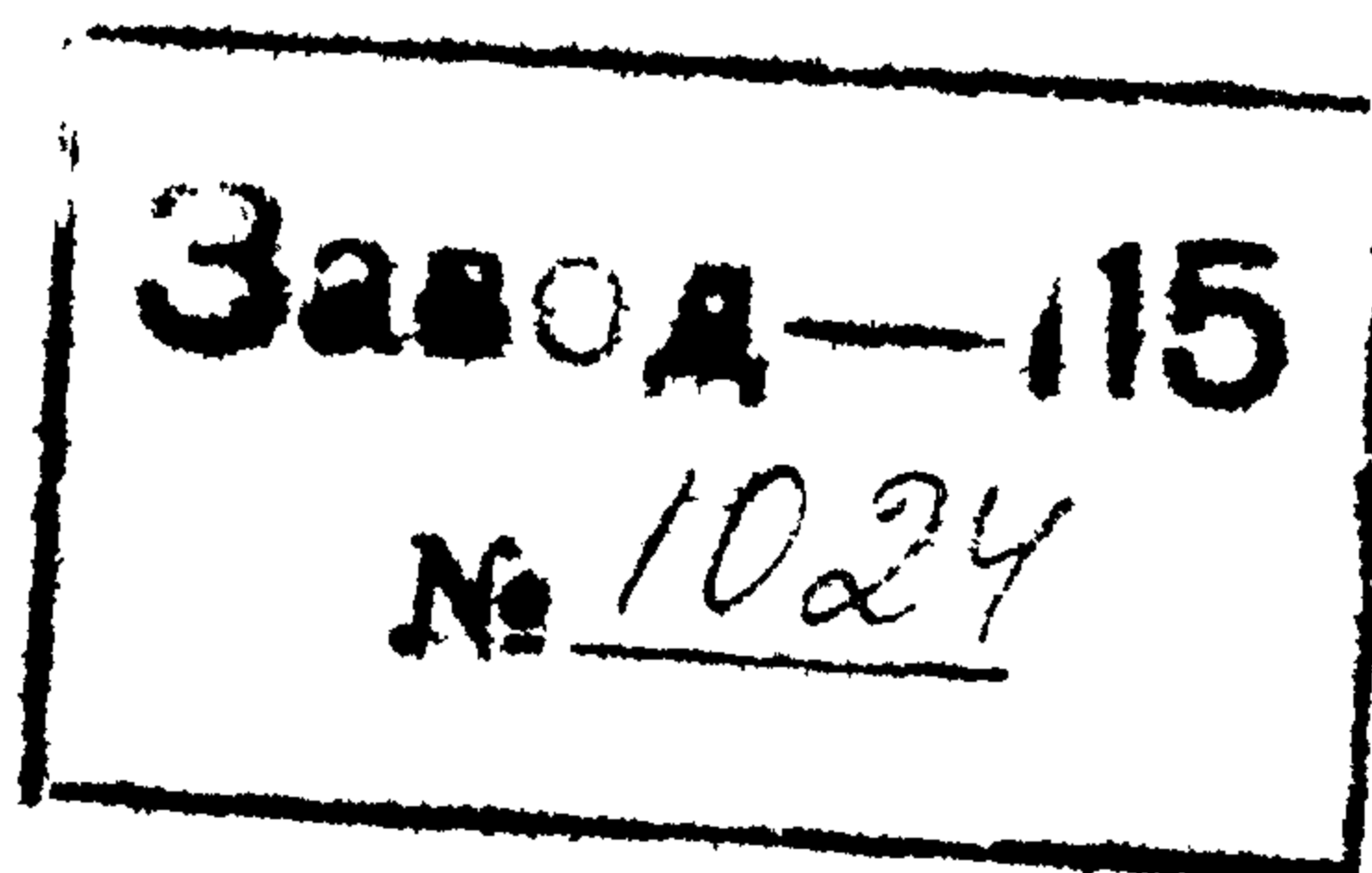
УО-2
с. 74

629.7.02
С 74

СПРАВОЧНИК АВИАКОНСТРУКТОРА

ТОМ II

Гидромеханика гидросамолета



Редактор
Справочника авиаконструктора*
А. А. Горяинов

Техред. *С. Н. Бабочкин*
Сдано в набор 29/X—1927 г.
Подписано к печати 25/III—1938 г.
Формат бум. $72 \times 108^{1/16}$
Объем $17\frac{1}{2}$ печ. листов
Знаков в печатн. листе 70 000
Тираж 7 000 экз. Заказ № 4233
Уполн. Мособлгорлита № Б-435
1-я Образцовая типография Огиза
РСФСР треста „Полиграфкнига“
Москва, Валовая, 28

Отпечатано в 1-й журнальной типографии
ГОМТИ, Москва, Денисовский пер., 30.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Том II Справочника авиаконструктора, составляющегося по личному указанию **незабвенного Г. К. Орджоникидзе**, является продолжением работы ЦАГИ по сбору и систематизации литературных данных и практического опыта по расчету и конструированию самолетов и содержит материалы по гидромеханике гидросамолета.

ЦАГИ обращается к читателю с просьбой сообщить все свои замечания и пожелания о Справочнике; эти сообщения будут приняты с глубокой благодарностью и учтены как при выходе II издания, так и следующих томов Справочника.

**ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ
ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
ГИДРОМЕХАНИКЕ ГИДРОСАМОЛЕТА**

ВВЕДЕНИЕ

Стремление использовать для взлетов и посадок самолетов водную поверхность привело к необходимости разрешения проблемы движения по водной поверхности с большими скоростями. Опыт судостроения и обширные материалы по гидродинамике судов не могли быть использованы потому, что самолеты требовали для разбега скоростей хода по воде в несколько раз больших, чем максимальные скорости морских судов. Это обстоятельство заставило научных исследователей расширить область гидродинамических исследований и в результате разработать новые формы глиссирующих (скользящих по поверхности) корпусов. Проблема взлетающего с водной поверхности и садящегося на нее самолета (гидросамолета) была разрешена почти одновременно, в двух основных типах, одинаково применяемых и в настоящее время. Первым был построен поплавковый гидросамолет Кертиса, а несколько позже начала летать, с неменьшим успехом, летающая лодка Донне-Левека. Поплавковый гидросамолет получился из сухопутного самолета путем замены его колесного шасси на шасси с поплавками.

Всякий гидросамолет должен иметь плавательные приспособления той или иной формы, при помощи которых он осуществляет все маневры, связанные с осуществлением взлета, посадки и хода по воде. Следовательно, помимо полетных качеств, гидросамолет должен в какой-то мере обладать еще мореходными качествами, обеспечивающими ему безопасность маневрирования на воде, а также безопасный взлет и посадку при определенных волне и ветре.

Гидросамолет должен находиться на воде в состоянии статического плавания, когда вес его полностью поддерживается гидростатическими силами (стоянка на якорю, буксировка, дрейф, ход на малых скоростях), для чего он должен обладать достаточным запасом водоизмещения и продольной и поперечной остойчивостью, т. е. нормальными качествами корабля.

Во время разбега гидросамолет должен постепенно перейти, по мере увеличения скорости хода, на режим глиссирования, когда равнодействующая гидродинамических давлений, благодаря специальной форме днища, имеет настолько большую по величине вертикальную составляющую, что гидросамолет скользит по поверхности (ход на редане). Специальная форма днища корпуса в соединении с реданным уступом является неотъемлемой частью конструкции всякого современного гидросамолета. Растущая со скоростью аэродинамическая подъемная сила крыла создает постепенную разгрузку; максимум гидродинамического сопротивления наступает при 30—40% взлетной скорости, после чего, благодаря дальнейшей разгрузке, оно быстро падает до нуля (отрыв); когда весь полетный вес поддерживается крылом, и происходит взлет. С этого момента гидросамолет должен иметь нормальные полетные качества. Во время посадки гидросамолет проходит почти те же фазы, что и во время разбега, но только в обратном порядке.

У некоторых гидросамолетов перед выходом на редан замечается явление продольных раскачиваний. Эти колебания могут перейти в прыжки; при этом возникает опасность для гидросамолета после прыжка („барса“) удариться об воду носом, а может быть еще и с креном, что, кроме удара, вызовет еще и резкий разворот. Иногда наблюдается, что самолет во время глиссирования совершает ряд мелких подскакиваний, все более и более

редан. Скорость хода на редане быстро возрастает, вместе с ней растет подъемная сила крыльев и в момент достижения взлетной скорости гидросамолет отделяется от воды.

Нормальная посадка гидросамолета

Нормальная посадка происходит после выравнивания гидросамолета и касания затем воды, при положении ручки на себя. Гидросамолет может коснуться воды либо реданом (посадка с повышенной скоростью), либо хвостом и реданом одновременно (нормальная посадка), либо на больших углах дифферента, после потери скорости еще в воздухе (посадка с парашютированием). Коснувшись воды, гидросамолет продолжает двигаться с сильно уменьшающейся скоростью и перед переходом на режим плавания получает дифферент на корму, а затем быстро теряет скорость и останавливается. В момент первого касания воды может измениться дифферент гидросамолета под действием удара, особенно, если редан сильно смещен вперед или назад относительно центра тяжести. Слишком переднее положение редана вызывает после удара опускание хвоста и последующее рикошетирование. При слишком заднем расположении редана гидросамолет после удара резко переваливается на нос, причем возникают мелкие продольные колебания.

Таким образом, основными проблемами гидродинамики при изучении взлета и посадки гидросамолета являются глиссирование и удар. Первоначальными задачами здесь являются: глиссирование плоской пластины и удар твердого тела простейшей формы о воду.

Трудность распространения полученных в подобных задачах решений на другие более сложные случаи и, в конечном счете, на гидросамолет, заставляет обращаться к экспериментальной стороне исследований; эти исследования проводятся как в специальных бассейнах (каналах) с моделями, так и в натуральных условиях. Выбор форм корпуса и расчет взлета базируется главным образом на экспериментальных данных.

Вопросы поведения гидросамолета на взволнованной поверхности и теоретически и экспериментально изучены чрезвычайно мало; некоторые общие положения, известные в этой области, позволяют с той или иной степенью достоверности только оценить уже выбранные формы и размеры корпуса.

ТЕОРИЯ ГЛИССИРОВАНИЯ

Глиссирование (скольжение) по поверхности воды есть такое движение судна, когда вертикальная сила, поддерживающая его на поверхности воды, почти целиком обусловлена динамической реакцией воды. (При движении водоизмещающих плавающих судов подъемная сила, как и при покое, представляет собой архимедову силу).

Характерной особенностью обводов гидросамолетов является наличие редана, скул и плоскодонная форма днища (днища профилируются в продольном и поперечном направлениях, но эти отклонения от плоской пластинки, в той части, которая воспринимает гидродинамические давления на режиме глиссирования, обычно незначительны).

Общая картина потока вблизи глиссирующей поверхности имеет правильный струйный характер. При большой скорости движения у переднего и боковых краев выбрасываются тонкие струи воды, которые разлетаются в брызги; это указывает на большие перепады давления при переходе от днища к поверхности воды. Непосредственно перед глиссирующей поверхностью вода и ее поверхность почти не возмущены; через весьма короткий промежуток времени эта вода быстро приводится в движение надвигающимся днищем и оттесняется вниз и в стороны. Вследствие быстрого изменения количества движения воды, глиссирующая поверхность испытывает значительное динамическое противодействие.

С увеличением скорости движения при переходе на режим глиссирования гидросамолет под действием динамических сил выталкивается на поверхность воды. На режиме глиссирования движение происходит при весьма незначительном водоизмещении; гидросамолет как бы скользит, едва касаясь поверхности воды.

Режим глиссирования характеризуется большим значением числа Фруда.

Энергию, переходящую от корпуса гидросамолета к воде, можно разделить на механическую энергию возмущений воды и энергию, рассеивающуюся благодаря силам вязкости. Расход энергии возмущенного движения воды можно составить из энергии, потребной для образования струи у переднего края и из энергии, остающейся за корпусом.

Доля сопротивления, зависящая от возмущений, оставшихся позади корпуса, аналогична индуктивному сопротивлению крыла; это сопротивление можно рассматривать как волновое сопротивление, так как возмущения воды на далеких расстояниях от корпуса преобразуются в волновые движения. Сопротивление, зависящее от наличия брызг у переднего края, играет главную роль, когда ширина глиссирующей поверхности значительно больше, в 3—4 раза, чем смоченная длина. В пределе, для бесконечного размаха при больших значениях числа Фруда отношение волнового сопротивления к сопротивлению брызгообразования близко к нулю.

Значение вязкости для установления первоначальных возмущений основного потока, сравнительно со значением инерции воды, ничтожно. Наоборот, на движение воды в струях и на движение воды в пограничном слое у днища вязкость влияет существенно. Силы, действующие на элементы днища, можно разложить на составляющие: нормальную и касательную к днищу.

Касательная составляющая представляет собой силу трения воды о днище; эта сила обусловлена движением воды в пограничном слое. При малых углах атаки доля сопротивления от трения воды о днище может быть очень большой. Учет этого сопротивления осложняется тем, что в передней части силы трения, приложенные к днищу, направлены вперед, так как скорость воды в струях больше скорости днища. Возможны также случаи, когда общая сила трения направлена вперед.¹⁰

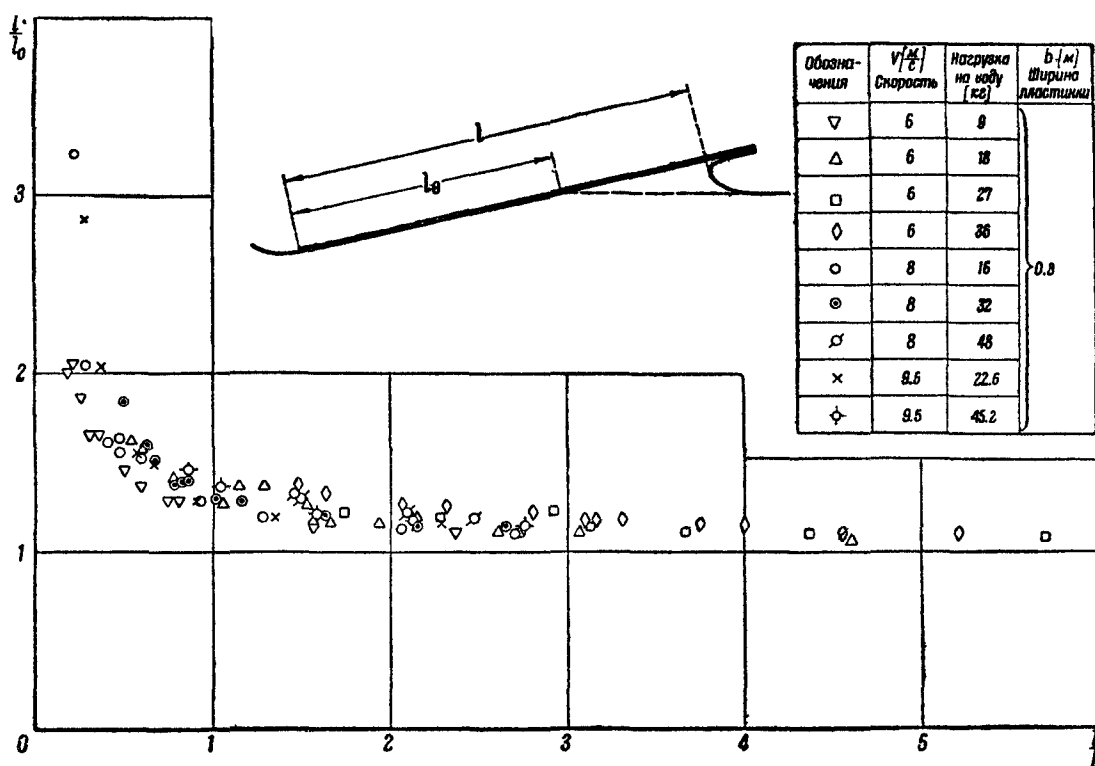
Нормальная составляющая практически зависит только от распределения давления по днищу. При глиссировании нет отрыва пограничного слоя внутрь внешнего потока, следовательно нет существенного искажения потенциального обтекания. Поэтому распределение давления по днищу можно определять, рассматривая движение воды без учета сил вязкости (при этом возмущением внешнего потока, которое вызывается присутствием пограничного слоя, обычно пренебрегают).

Общая гидродинамическая сила составляется из силы трения и из силы, получаемой суммированием сил, нормальных к днищу.

У передней части глиссирующей поверхности имеет место подпор воды. Смоченная поверхность, вдоль которой воспринимаются гидродинамические давления, больше, чем геометрически определенная поверхность днища под невозмущенным уровнем воды. Опыты с плоскими пластинками показали, что отношение смоченной длины l к ее части под уровнем l_0

в основном зависит от отношения $\frac{l}{b}$, где b — ширина пластинки. На фиг. 1 представлены опытные данные, полученные Зотторфом.¹ В таблице I приведены результаты опытов Барильона.⁴

На разброс точек влияет некоторая зависимость $\frac{l}{l_0}$ от числа Фруда $Fr_B = \frac{V}{\sqrt{gb}}$, а также погрешности в измерениях смоченной длины l . Смоченную длину трудно измерить точно, в виду неопределенности ее границы, особенно при малых отношениях $\frac{l}{b}$; в этом случае трудно получить



Фиг. 1

Таблица 1
Угол атаки $\alpha = 7^\circ$

$V \left[\frac{м}{с} \right]$	b [м]	$\frac{l}{l_0}$	$\left[\frac{l}{b} \right]$
3	0,3	1,68	0,28
3	3	7	0,12
3	6	8	0,07
4	0,3	1,7	0,283
4	3	12,6	0,21
4	6	13,6	0,113

установившееся обтекание. Несмотря на это, опытные данные ясно показывают, что при большой ширине глссирующей поверхности впереди имеется значительный подпор воды, а это оказывает существенное влияние на гидродинамические силы. Поэтому при теоретическом определении гидродинамических сил берут в качестве характерного продольного размера значение смоченной длины l . Расположение глссирующей поверхности по высоте нужно учитывать только в уточненной теории, когда принимается во внимание весомость воды.

Дать точный теоретический анализ процесса глссирования с учетом всех факторов, оказывающих влияние на это явление, невозможно. Поэтому теория рассматривает лишь различные простые предельные случаи, дающие в совокупности картину процесса глссирования, позволяющие выделить главные факторы и разъяснить результаты экспериментов.

Конечные углы атаки

Задача о глссировании по поверхности невесомой идеальной жидкости для плоскопараллельного движения (бесконечная ширина) принадлежит к задачам типа Гельмгольца-Кирхгофа о струях. Для плоской пластинки в этом случае имеются решения для конечной и бесконечной глубины потока. ^{3 5 9}

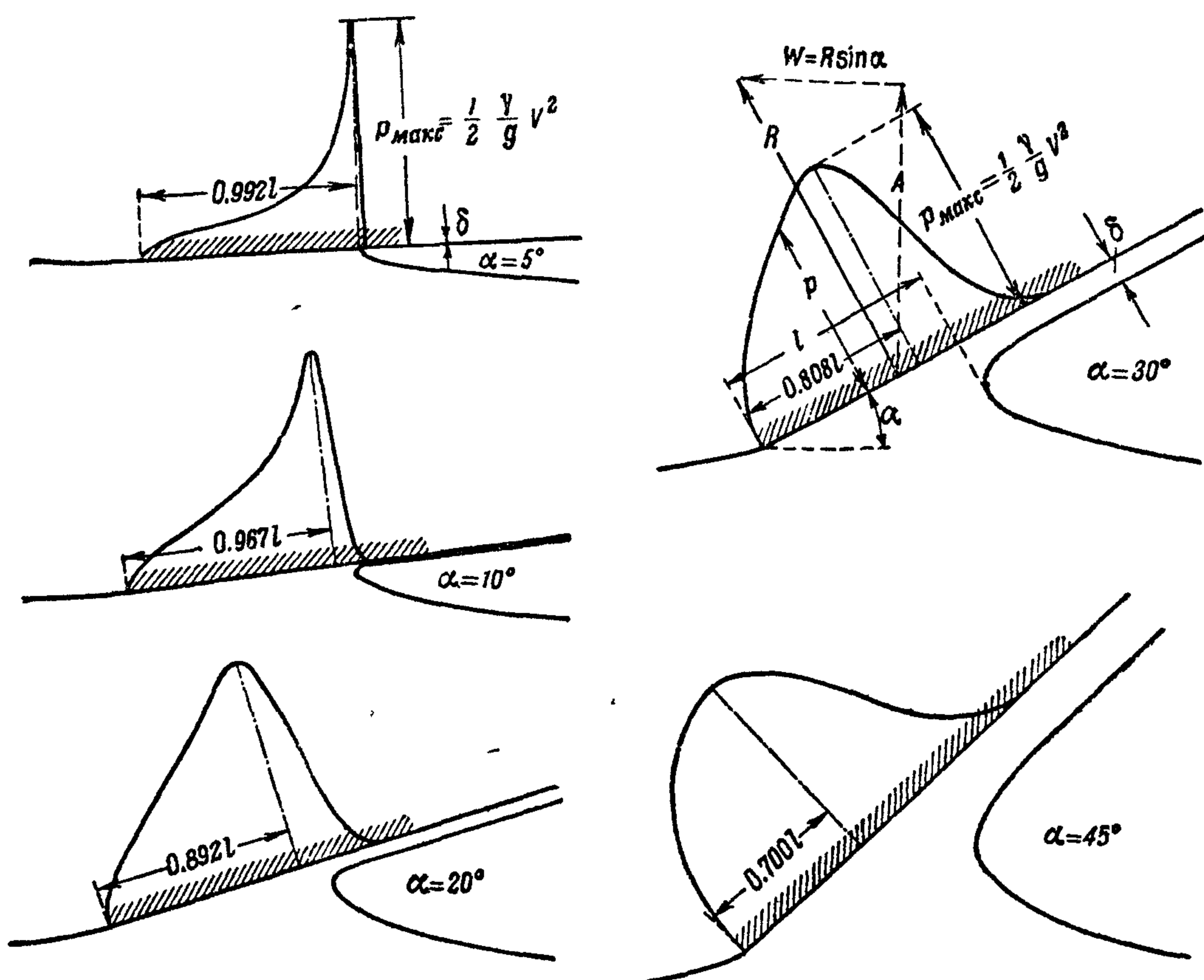
На фиг. 2 представлены форма свободной поверхности и распределение давлений для различных углов атаки α при обтекании плоской пластинки бесконечно глубоким потоком. Гидродинамическая сила нормальна к пластинке и ее величина на единицу ширины пластинки дается формулой:

$$R = \rho \delta V^2 \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2},$$

где ρ — плотность жидкости, δ — толщина брызговой струи в бесконечности, V — скорость движения пластинки и α — угол атаки — угол между скоростью и пластинкой. Из этой формулы получаются для подъемной силы и сопротивления следующие формулы:

$$A = R \cos \alpha,$$

$$W = R \sin \alpha = 2\rho\delta V^2 \cos^2 \frac{\alpha}{2}.$$



Фиг. 2. Свободная поверхность и распределение давлений при обтекании плоской пластинки струйным потоком невесомой жидкости. Для пластинок конечной ширины угол атаки α следует заменить эффективным углом атаки α_W (стр. 22)

Из формулы Бернулли, примененной к невесомой жидкости, следует, что на свободной поверхности, где давление постоянно, величина относительной скорости жидкости везде равняется скорости глсссирующей пластинки; поэтому величина абсолютной скорости жидкости в струе равняется $2V \cos \frac{\alpha}{2}$ (когда α весьма мало, это количество почти равно $2V$). Количество жидкости, попадающее в струю за единицу времени (расход струи), равняется $\rho\delta V$.

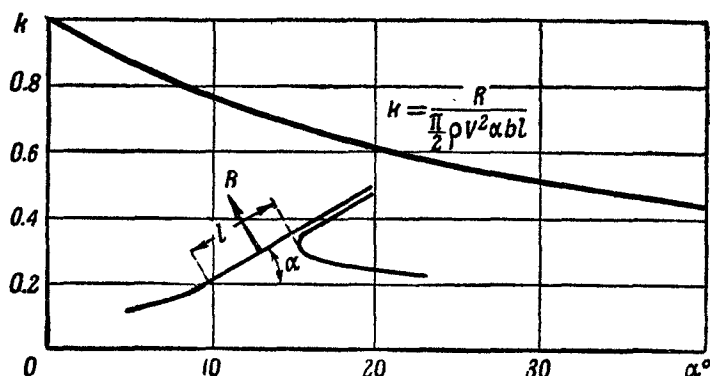
Кинетическая энергия, приобретаемая струей в единицу времени, дается выражением:

$$\frac{\rho\delta V \left(2V \cos \frac{\alpha}{2}\right)^2}{2} = 2\rho\delta V^3 \cos^2 \frac{\alpha}{2} = WV.$$

Следовательно, сопротивление W есть результат образования брызговой струи у переднего края. На большом расстоянии от пластинки жидкость успокаивается полностью. Этот результат справедлив также при обтекании изогнутых пластинок плоскопараллельным потоком невесомой жидкости.

Величину смоченной длины l определяют как расстояние от задней кромки до точки пересечения перпендикулярной к пластинке касательной

к свободной поверхности. При малых углах атаки смоченная длина отличается только на малое второго порядка от расстояния между задней кромкой и критической точкой. В критической точке скорость равна нулю а давление максимально и равно скоростному напору $\frac{\rho V^2}{2}$



Толщину струи δ можно выразить через l и a , после чего формулу для R можно представить в виде:

Здесь R представляет собой силу, отнесенную к ширине пластинки b . Зависимость коэффициента k от a дается кривой на фиг. 3; $k \approx 1$ при малых a .

$$R = k \frac{\pi \rho V^2}{2} b l a.$$

Фиг. 3. График для определения коэффициента k . Для пластинок конечной ширины угол атаки α следует заменить эффективным углом атаки α_w (стр. 22)

Числовые значения k даны в таблице II. При малых a зависимость δ от l и a имеет вид:

$$\delta = \frac{\pi l a^2}{4}$$

(при малых a брызговая струя у переднего края очень тонкая).

Таблица II

α°	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
k	0,983	0,978	0,97	0,957	0,944	0,918	0,895	0,85	0,805	0,765

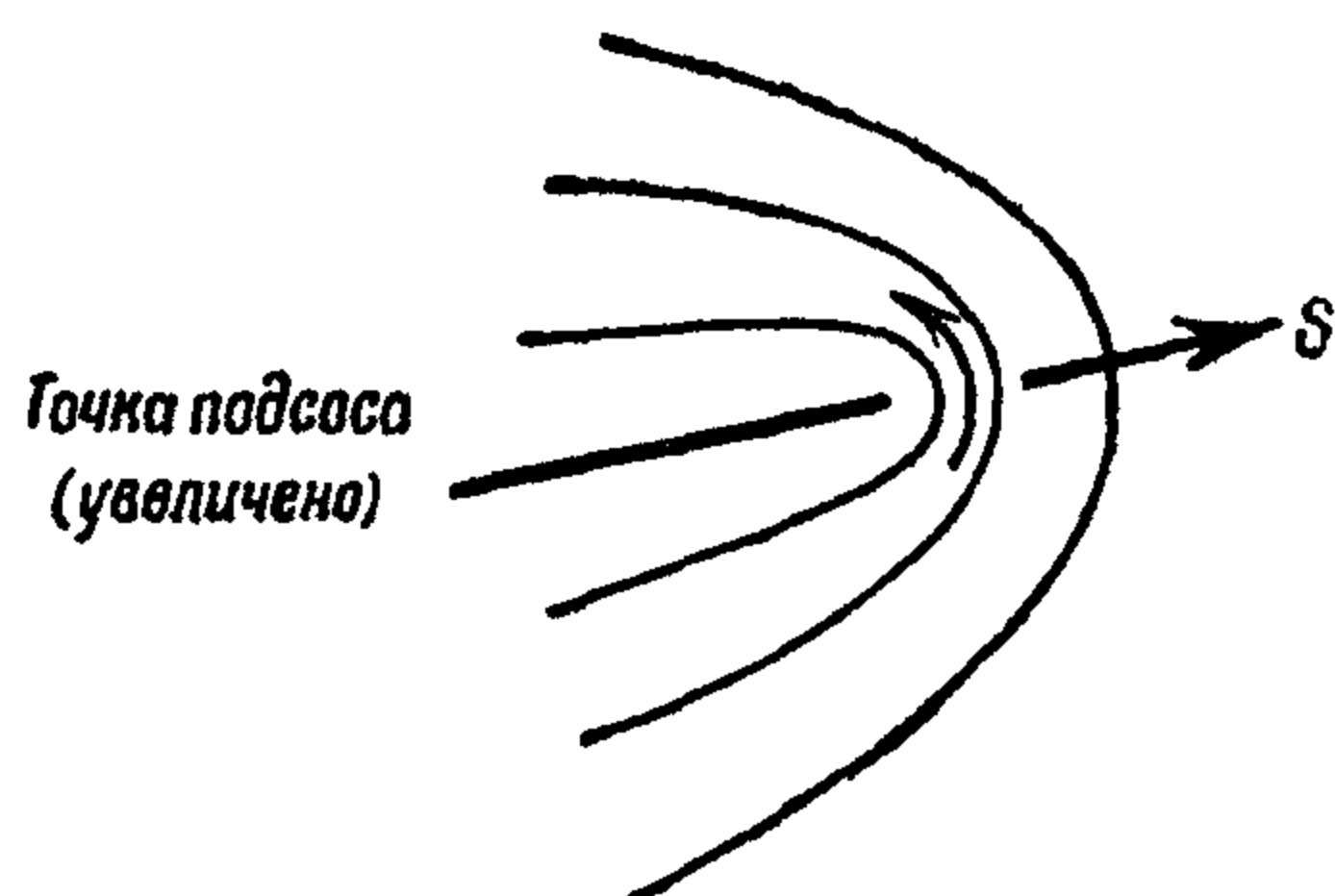
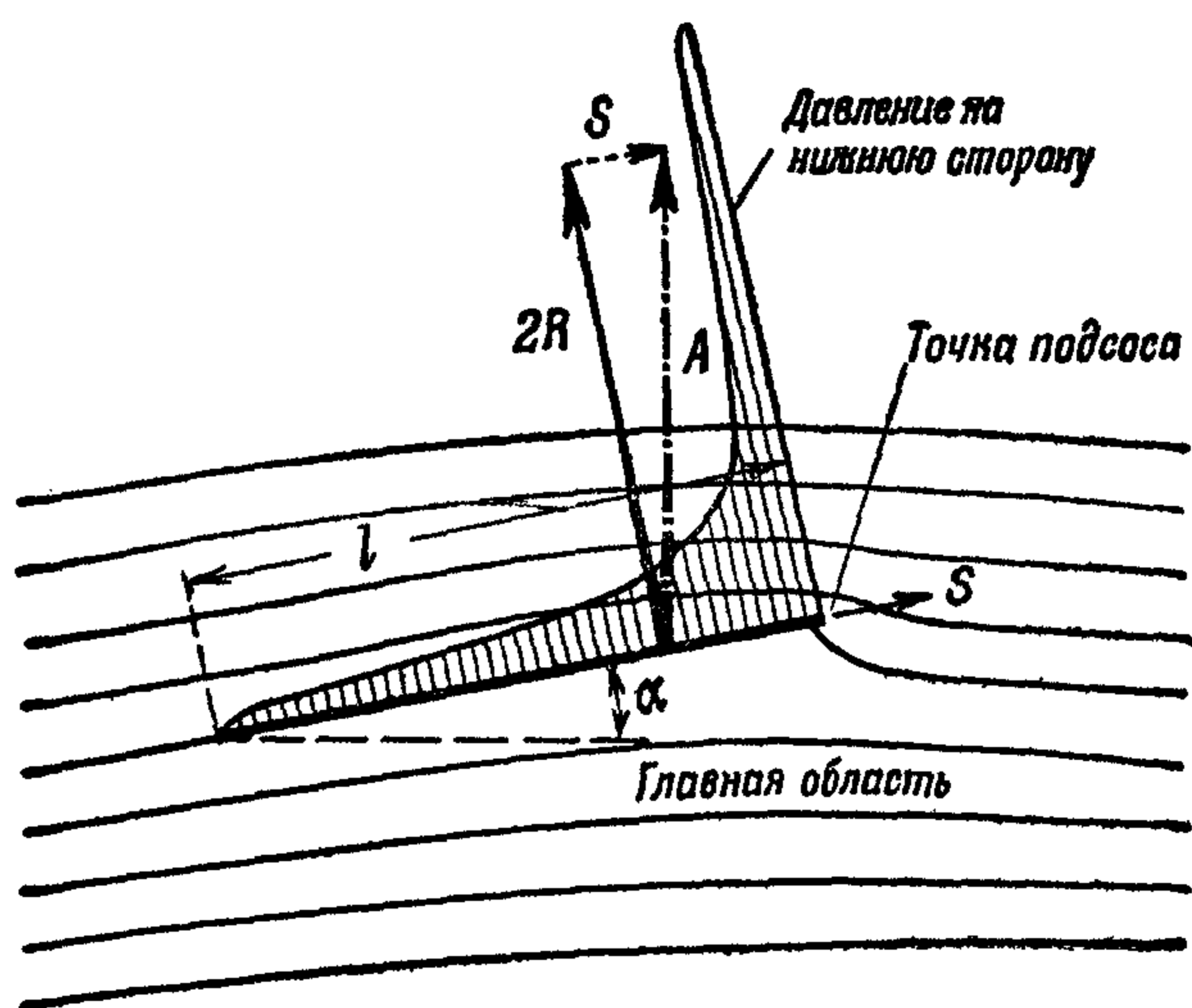
Весьма малые углы атаки. Аналогия с крылом

Для малых углов наклона элементов глассирующей поверхности к горизонту, гидродинамическую задачу об определении возмущенного движения воды можно значительно упростить, если применять приближенные методы, которыми пользуются в теории волн малой амплитуды и в теории тонких крыльев. Эти приближенные методы заключаются в следующем: граничные условия на смоченной и свободной поверхностях переносятся по вертикали на горизонтальную плоскость, совпадающую с первоначальным невозмущенным уровнем воды; в граничных условиях сохраняются только малые первого порядка относительно a . Пользуясь допущением, что величина абсолютной скорости на свободной поверхности имеет порядок a , в условиях о постоянстве давления на свободной границе пренебрегают квадратами величины абсолютной скорости жидкости. В соответствии с опытными данными предполагается, что у задней кромки нет брызговой струи, а имеется плавное стекание воды.

Если, кроме того, пренебречь весомостью воды (большие значения чисел Фруда), то из граничных условий сразу получается, что искомый поток в нижнем полупространстве можно рассматривать как часть потока в бесконечном пространстве около тонкого крыла, имеющего форму глассирующей поверхности и движущегося с той же скоростью, что и глассирующая поверхность.

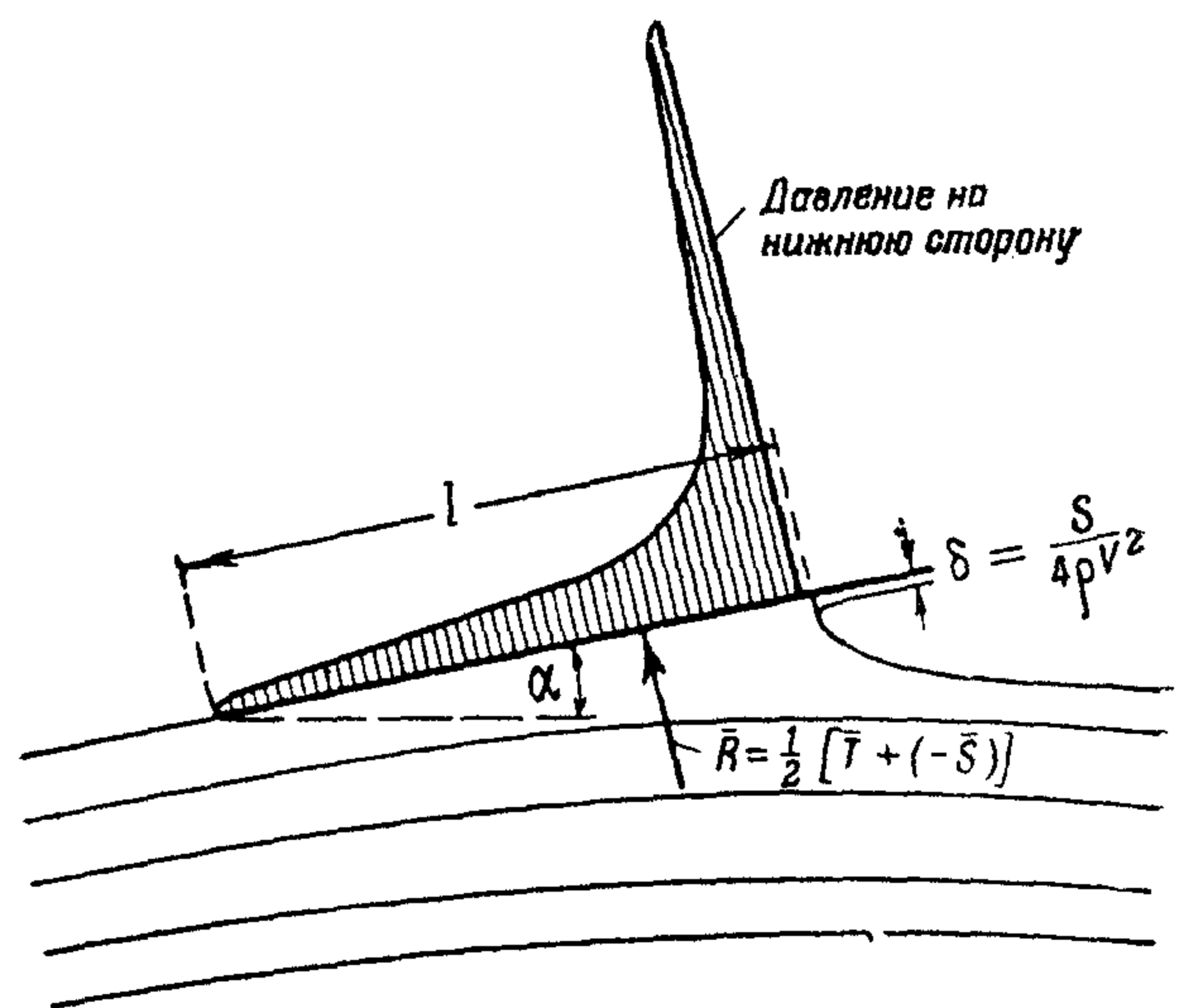
Квадратом абсолютной скорости у переднего края, где образуется брызговая струя, пренебрегать нельзя, потому что абсолютные скорости

жидкости в струе имеют порядок удвоенной скорости глсссирующей поверхности. Струйное течение вблизи переднего края глсссирующей поверхности отличается от течения вблизи переднего острого края крыла. У крыла имеет место обтекание острого угла, и поэтому скорость жидкости бесконечна; здесь получается большое разрежение, что обуславливает наличие подсасывающей силы (фиг. 4). Вагнер показал³, что эту бесконечную скорость можно рассматривать как модель брызговой струи, а ве-



Фиг. 4. Обтекание плоской пластинки бесконечного размаха при малом угле атаки. Точка подсоса

Фиг. 5. Глсссирование плоской пластинки бесконечного размаха при малом угле атаки



Фиг. 5. Глсссирование плоской пластинки бесконечного размаха при малом угле атаки

личину половины подсасывающей силы—как сопротивление брызгообразования. К переднему краю крыла можно приставить такое струйное течение Кирхгофовского типа, чтобы это течение уже на близких расстояниях от острия переходило плавно в поток в нижнем полупространстве около крыла (фиг. 5). Толщина струи δ этого течения связана с величиной подсасывающей силы S , отнесенной к единице ширины, соотношением:

$$\delta = \frac{S}{4\rho V^2}.$$

Значение S можно определить из теории крыла.

Сопротивление брызгообразования W_{sp} , отнесенное к единице ширины, в виду малости α , может быть взято равным:

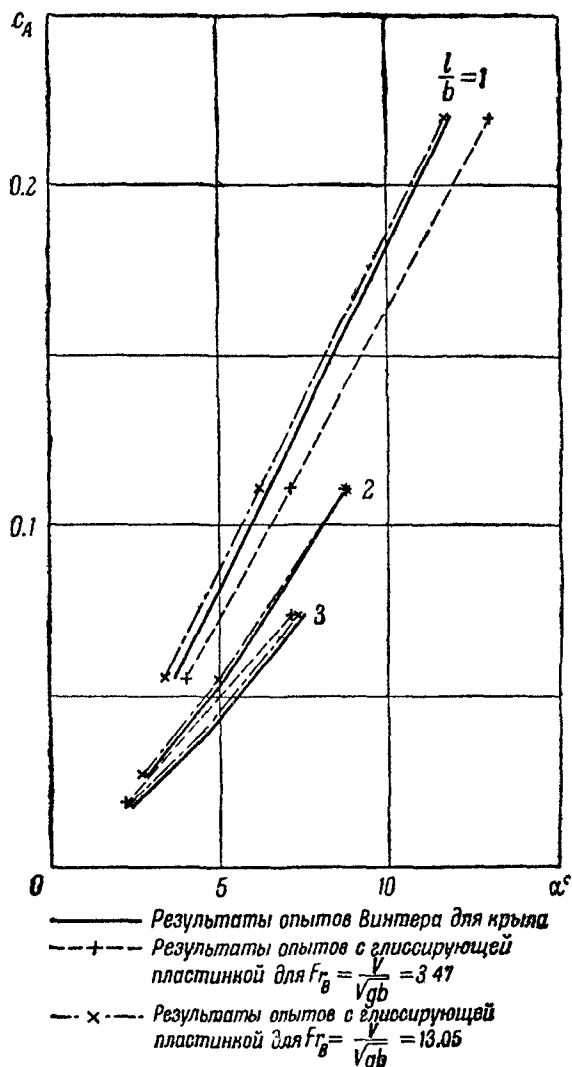
$$W_{sp} = 2\rho\delta V^2 = \frac{S}{2};$$

следовательно, сопротивление брызгообразования равняется половине подсасывающей силы соответствующего крыла.

Величина подъемной силы определяется главной частью потока, внешней к малой окрестности переднего края. Эти главные части потока у глсссирующей поверхности и в нижнем полупространстве у крыла одинаковы. Так как на тонкое крыло сверху и снизу действуют одинаковые силы, то полная гидродинамическая сила R , действующая на глсссирующую поверхность, определится как половина разности между полной силой T , действующей на крыло, и подсасывающей силой S :

$$\bar{R} = \frac{1}{2} [\bar{T} - \bar{S}].$$

Это соотношение — основное в теории глссирования; оно справедливо как для коротких (большая ширина), так и для длинных пластинок, как для установившегося, так и для неустановившегося движения. На основании этого соотношения в теорию глссирования целиком переносятся многие результаты из теории крыла. На фиг. 6 представлены результаты опытов



для плоской пластинки, полученные при продувках в трубе Винтером⁶ и при опытах с глссированием в канале Замбраусом.¹⁰ По оси ординат отложены значения коэффициента общей силы, нормальной к пластинке:

$$c_A = \frac{R}{\frac{\rho V^2}{2} bl},$$

где b — ширина пластинки, l — длина, причем для крыла взята половина этого коэффициента. Фиг. 6 показывает совпадение данных этих различных опытов; это хорошо подтверждает вывод теории (относительно согласования теории глссирования, основанной на аналогии с крылом, с результатами экспериментов см. и фиг. 14). Как видно из фиг. 6, описанная аналогия, теоретически доказанная для бесконечно малых углов атаки, оказывается справедливой и для сравнительно больших углов атаки. Кроме того, фиг. 6 показывает, что влияние весомости воды в условиях проведенных опытов для значений числа Фруда $Fr_B = \frac{V}{\sqrt{gb}} > 3,47$ невелико и, следовательно, во многих практических случаях это влияние можно не учитывать.

По теореме Н. Е. Жуковского для крыла бесконечно большого размаха сила T перпендикулярна к скорости. При малых углах атаки и малой кривизне тонкого профиля подсосывающая сила будет малой второго порядка и ее можно считать направленной по скорости крыла. Отсюда следует, что при глссировании слабо искривленных пластинок бесконечной ширины под малым углом атаки справедливы соотношения:

$$A = \frac{1}{2} T,$$

$$W = W_{sp} = \frac{1}{2} S,$$

где A — подъемная сила, W — полное сопротивление.

В частности, для плоской пластинки, для сил, действующих на единицу ширины, справедливы формулы:

$$A = \pi^2 \frac{\rho V^2}{2} l \alpha,$$

$$W = \pi^2 \frac{\rho V^2}{2} l \alpha^2.$$

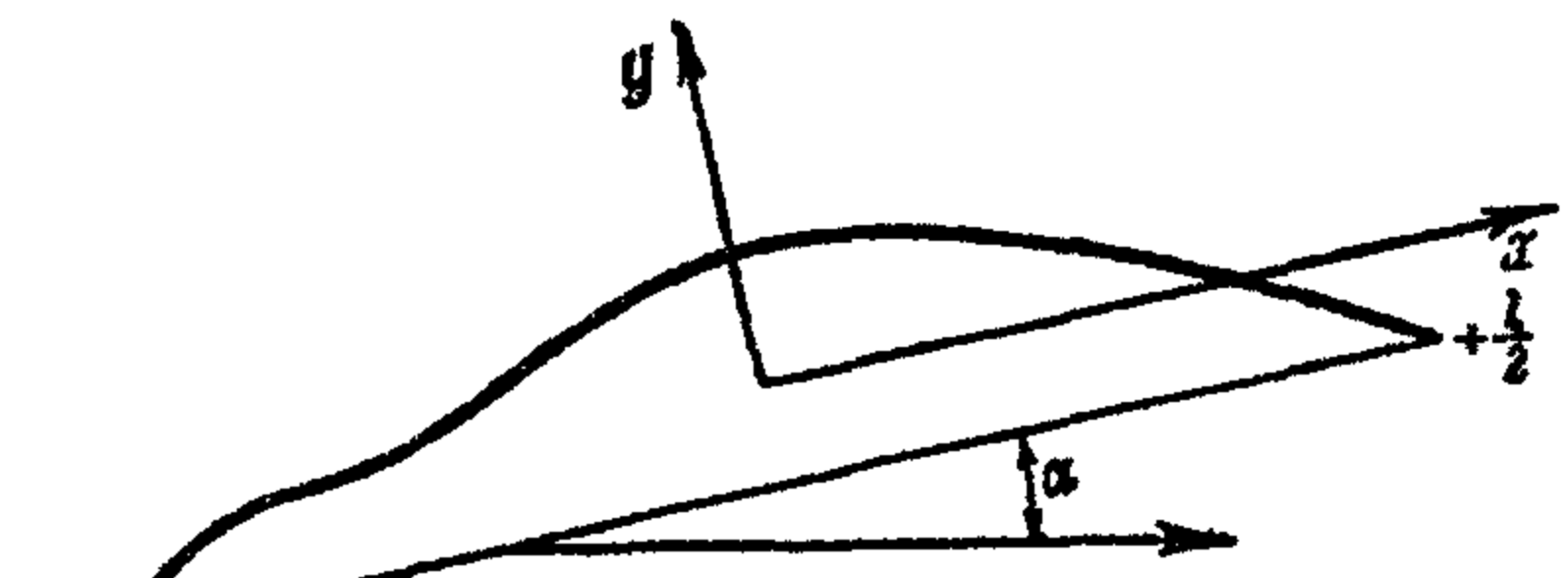
Эти формулы при малых α совпадают с формулами, полученными при более точном решении задачи (стр. 13 и 14).

Ниже приводятся общие формулы для гидродинамических сил при плоскопараллельном движении жидкости, действующих на единицу ширины как угодно слабо изогнутого профиля. (Эти формулы получаются непосредственно из данных в работе Седова ⁸).

Если форма профиля дана уравнением.

$$y = f(x), \quad \frac{dy}{dx} = f'(x)$$

(ось Ox параллельна хорде смоченной $-\frac{l}{2}$ части профиля, а ось Oy проходит через середину хорды) (фиг. 7), тогда



Фиг. 7

$$A = \pi \frac{\rho V^2}{2} l (a_1 + \alpha),$$

$$W = W_{sp} = \pi \frac{\rho V^2}{2} l (a_2 + \alpha)^2,$$

где

$$a_1 = \frac{2}{\pi l} \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} f'(x) \sqrt{\frac{l-2x}{l+2x}} dx,$$

$$a_2 = \frac{2}{\pi} \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} f'(x) \frac{dx}{\sqrt{l^2 - 4x^2}};$$

если

$$f'(x) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \left(\frac{2x}{l}\right)^{n-1},$$

то

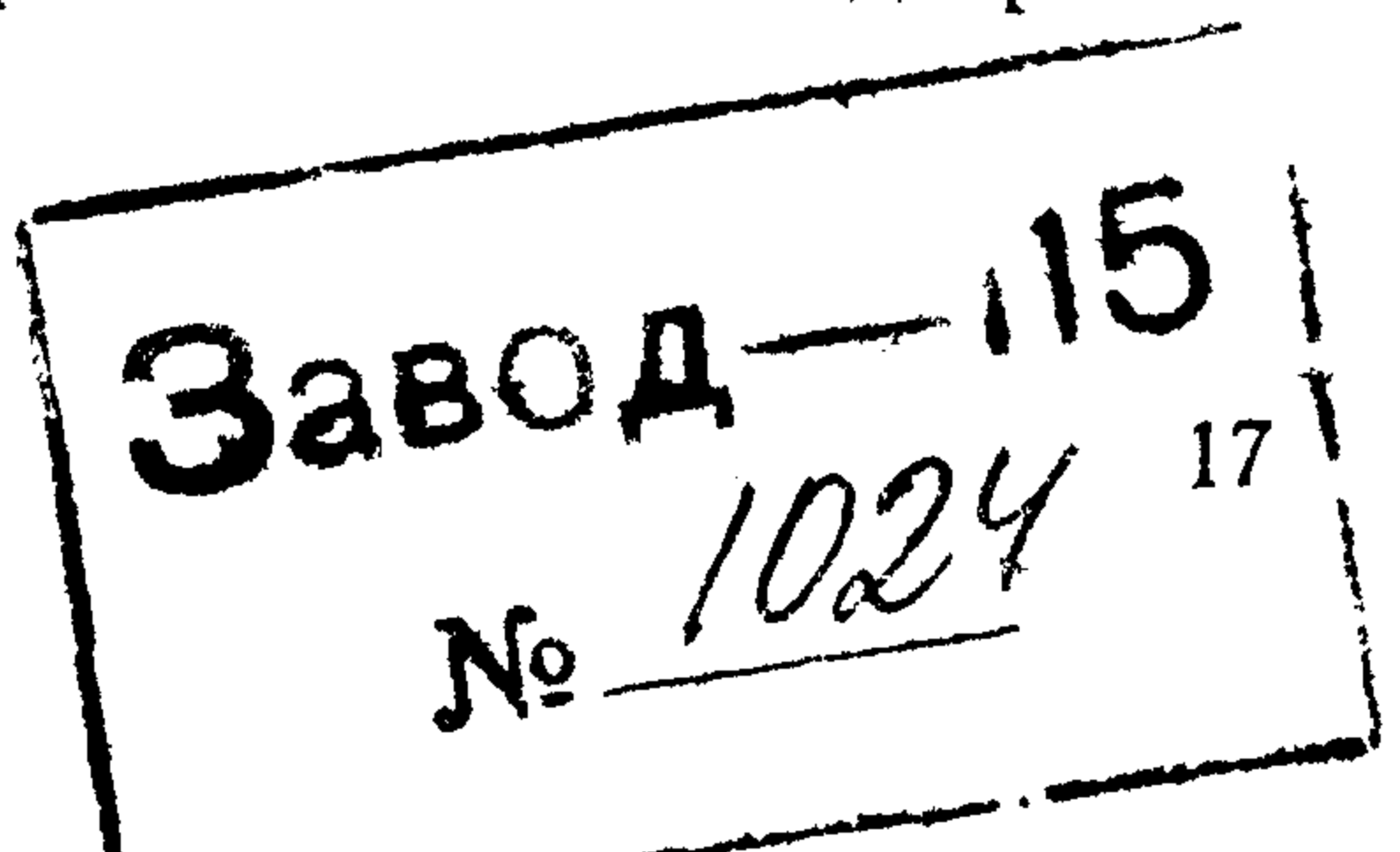
$$a_1 = A_1 + \sum_{k=1}^{\infty} (A_{2k+1} - A_{2k}) \frac{(2k-1)(2k-3)\dots 5 \cdot 3 \cdot 1}{2^k k!},$$

$$a_2 = \sum_{k=0}^{\infty} A_{2k+1} \frac{(2k-1)(2k-3)\dots 5 \cdot 3 \cdot 1}{2^k k!}.$$

Формулы для A и W показывают, что изгиб пластинки оказывает существенное влияние на значение гидродинамических сил; эти формулы аналогичны формулам $A = \pi \frac{\rho V^2}{2} l \alpha$ и $W = \pi \frac{\rho V^2}{2} l \alpha^2$ для плоской пластинки с измененными значениями угла атаки.

Для дуги круга или, что при данном приближенном методе равносильно, для дуги параболы:

$$y = f(x) = -f \frac{4x^2}{l^2}$$



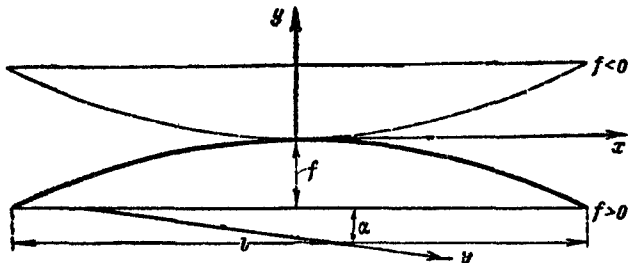
В этом случае $a_1 = \frac{2f}{l}$ и $a_2 = 0$, и следовательно:

$$A = \pi \frac{\rho V^2}{2} l \left(\frac{2f}{l} + a \right),$$

$$W = \pi \frac{\rho V^2}{2} l a^2,$$

где через f обозначена стрелка прогиба (фиг. 8) (при $f > 0$ дуга направлена вогнутостью вниз, при $f < 0$ — вогнутостью вверх).

При $a = 0$ для дуги круга сопротивление идеальной жидкости равно нулю, подъемная сила отлична от нуля, причем при $f > 0$ сила направлена вверх, а при $f < 0$ — вниз, т. е. имеет место засасывание пластинки внутрь воды. Очевидно, что для малых a , именно: $a < \frac{2|f|}{l}$, при $f < 0$ эффект засасывания сохраняется.



Фиг. 8

При плоскопараллельном движении для распределения давления в продольном направлении справедлива следующая формула:

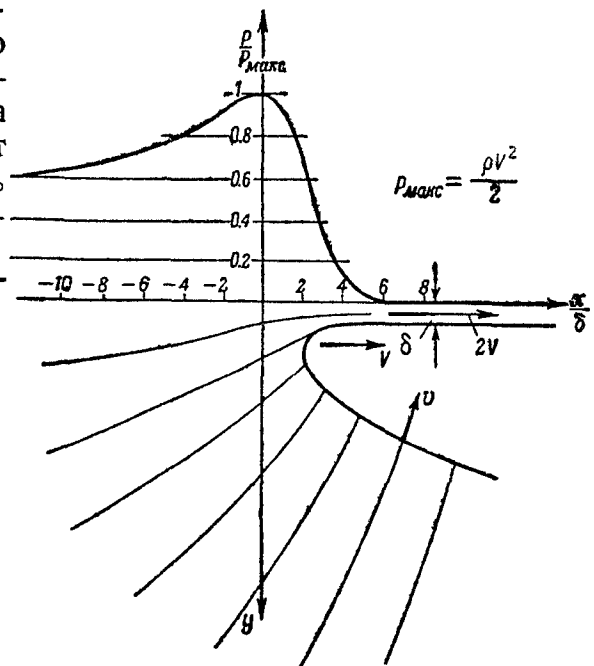
$$p - p_0 = \rho V^2 \sqrt{\frac{l+2x}{l-2x}} \left[a + \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} \frac{f'(u)}{x-u} \sqrt{\frac{l-2u}{l+2u}} du \right]$$

где p — давление на пластинке,
 p_0 — атмосферное давление;
 для плоской пластинки $f'(u) = 0$.

Для интеграла берется его главное значение в смысле Коши. Формула пригодна для вычисления распределения давления от задней кромки до критической точки. Распределение давлений за критической точкой получается из рассмотрения струйного течения у переднего края. Это струйное течение и распределение давлений показаны на фиг. 9. Ввиду малости расстояния между передним краем и критической точкой, доля подъемной силы, обусловленная давлениями в этой области, будет малой второго порядка как при струйном обтекании, так и у крыла.

На фиг. 10 представлены кривые распределения давления, полученные в опытах Зотторфа с плоскими пластинками.¹ Эти кривые по своей форме сходны с соответствующей кривой распределения, полученной теоретически для плоской пластинки бесконечной ширины (фиг. 2 и 5).

Вдоль смоченной поверхности, вообще говоря, имеет место весьма сильное изменение давлений в продольном направлении. Для плоских



Фиг. 9. Распределение давлений на пластинке в области переднего края за критической точкой. Линии тока проведены для абсолютного движения жидкости

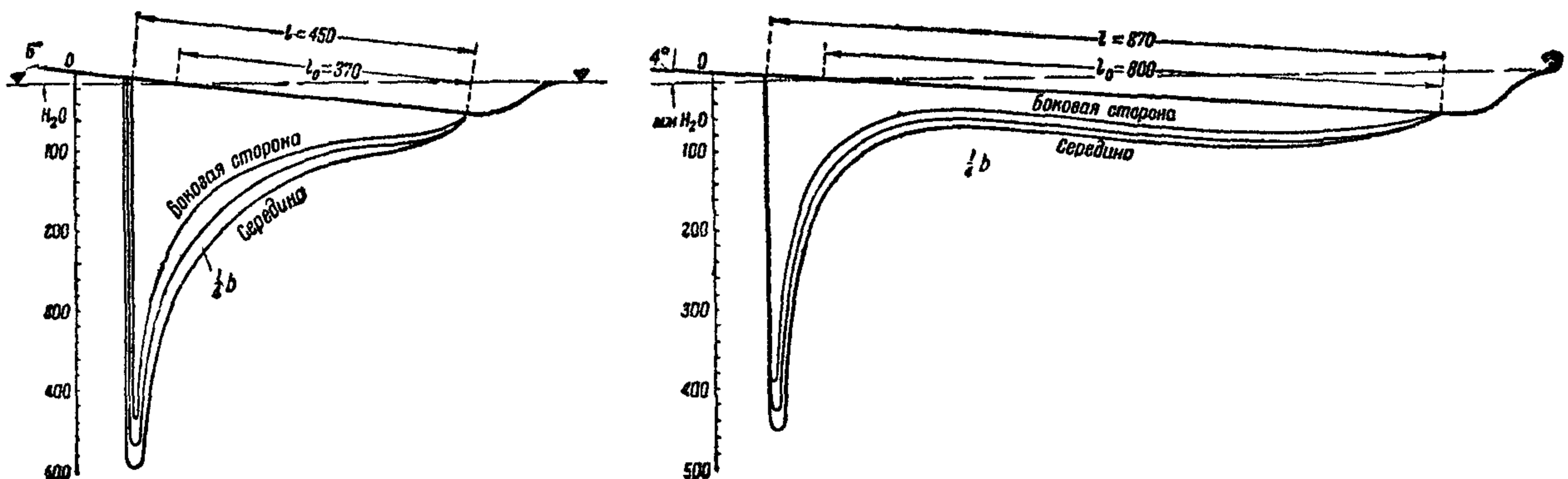
пластинок в поперечном направлении давления меняются незначительно. Величина давления зависит от отношения $\frac{l}{b}$.

Формула для момента гидродинамических сил, действующих на слабо изогнутую глсссирующую пластинку, относительно задней кромки — следующая:

$$M = \frac{3}{4} \pi \frac{\rho V^2}{2} l^2 (a_3 + a),$$

где

$$a_3 = \frac{8}{3\pi l^2} \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} f'(x) (l+x) \sqrt{\frac{l-2x}{l+2x}} dx.$$



Фиг. 10. Распределение давлений в поперечном и продольном направлении на смоченной части пластинки по опытам Зотторфа. Скорость буксирования $V = 6 \frac{M}{c}$; нагрузка на воду $\Delta = 18 \text{ кг}$

Если $f'(x) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \left(\frac{2x}{l}\right)^{n-1}$, то a_3 дается рядом:

$$a_3 = \frac{2}{3} \left[\sum_{k=1}^{\infty} (2A_{2k+1} - A_{2k} - A_{2k-1}) \frac{(2k-1)(2k-3)\dots 5 \cdot 3 \cdot 1}{2^k \cdot k!} + 2A_1 \right].$$

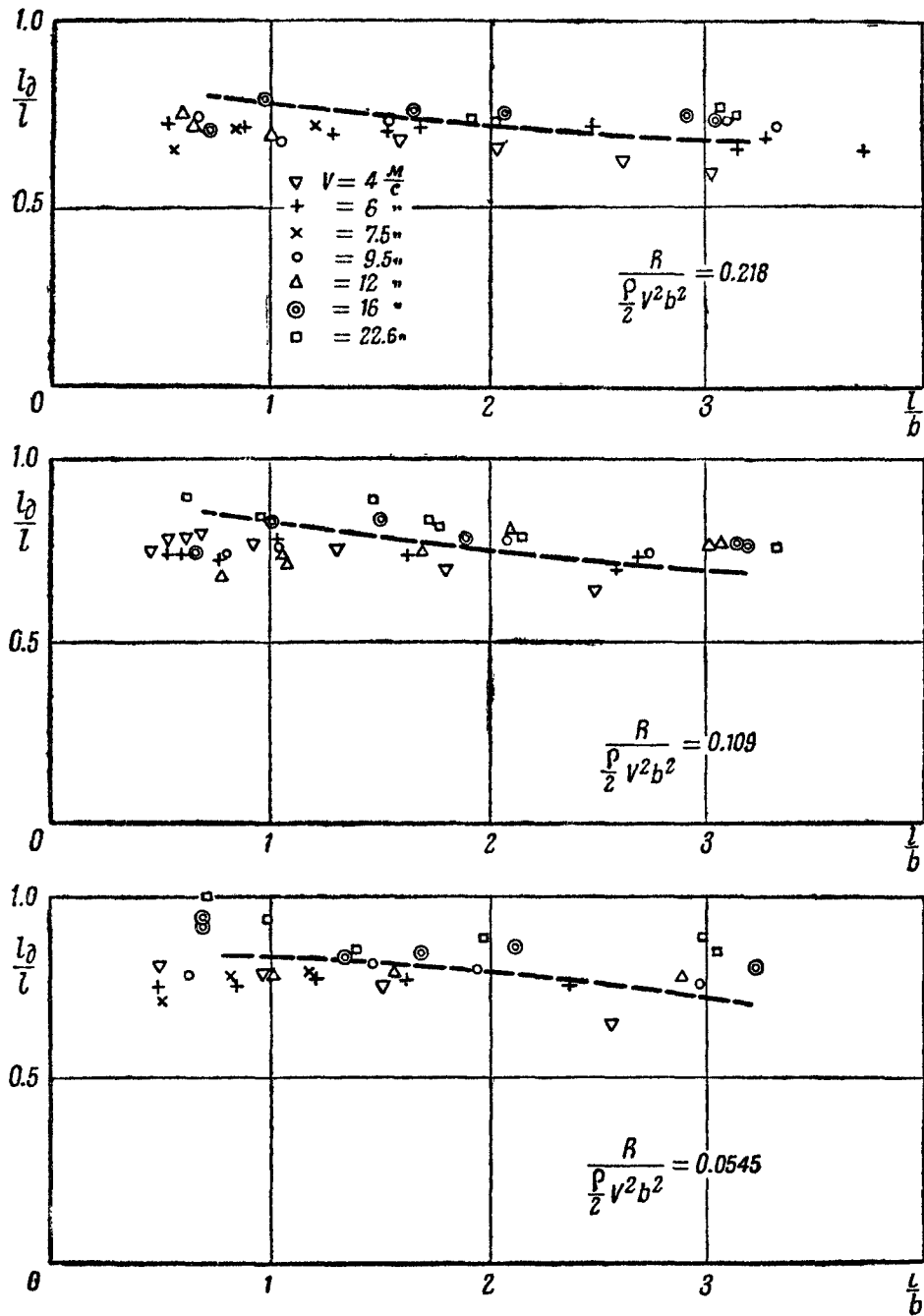
В частности, для плоской пластинки:

$$M = \frac{3}{4} \pi \frac{\rho V^2}{2} l^2 a.$$

Эта формула, вместе с формулой $A = \pi \frac{\rho V^2}{2} l a$, показывает, что для плоской пластинки центр давления расположен на расстоянии $l_0 = 0,75 l$ от задней кромки. На фиг. 11 представлены кривые отношения $\frac{l_0}{l}$ в зависимости от отношения $\frac{l}{b}$, по данным опытов при глсссировании плоских пластинок. Пунктиром нанесена кривая для центра давления по опытам Винтера с плоским прямоугольным крылом. Как видно, $\frac{l_0}{l}$ мало меняется с изменением $\frac{l}{b}$. Опытные данные для глсссирования близки к теоретическому значению 0,75 и к данным для крыла. На имеющиеся расхождения среди

прочих причин, повидимому, большое влияние оказывают неточности измерений.

Следует отметить, что продольное профилирование сказывается, вообще говоря, сильно на распределении давлений, на положении центра давления и на струйных явлениях у переднего края (сопротивление брызгообразования).



Фиг. 11. (Значения l_0 суть расстояния ц. д. от задней кромки)

Учет весомости воды. Плоская задача

Приведенные выше теоретические данные для плоскопараллельного движения основаны на пренебрежении весомостью воды. Если применять приближенные приемы, описанные на стр. 16, но учитывать весомость воды, то теряется аналогия с несущей поверхностью и математическая задача об определении возмущенного движения жидкости усложняется.

Гидродинамические характеристики слабо изогнутой пластинки с учетом тяжести воды, для больших значений числа Фруда можно вычислить, применяя метод, развитый Седовым.¹¹ Этим методом для плоской пла-

стинки получено что

$$A = \pi \frac{\rho V^2}{2} \left(1 - \pi \nu - \frac{4\nu}{\pi} \right) l a,$$

$$W = A a,$$

$$M = \frac{3}{4} \pi \frac{\rho V^2}{2} \left(1 - \pi \nu - \frac{32\nu}{9\pi} \right) l^2 a,$$

где $\nu = \frac{gl}{2V^2}$. Формулы представляют собой первые члены рядов, которые

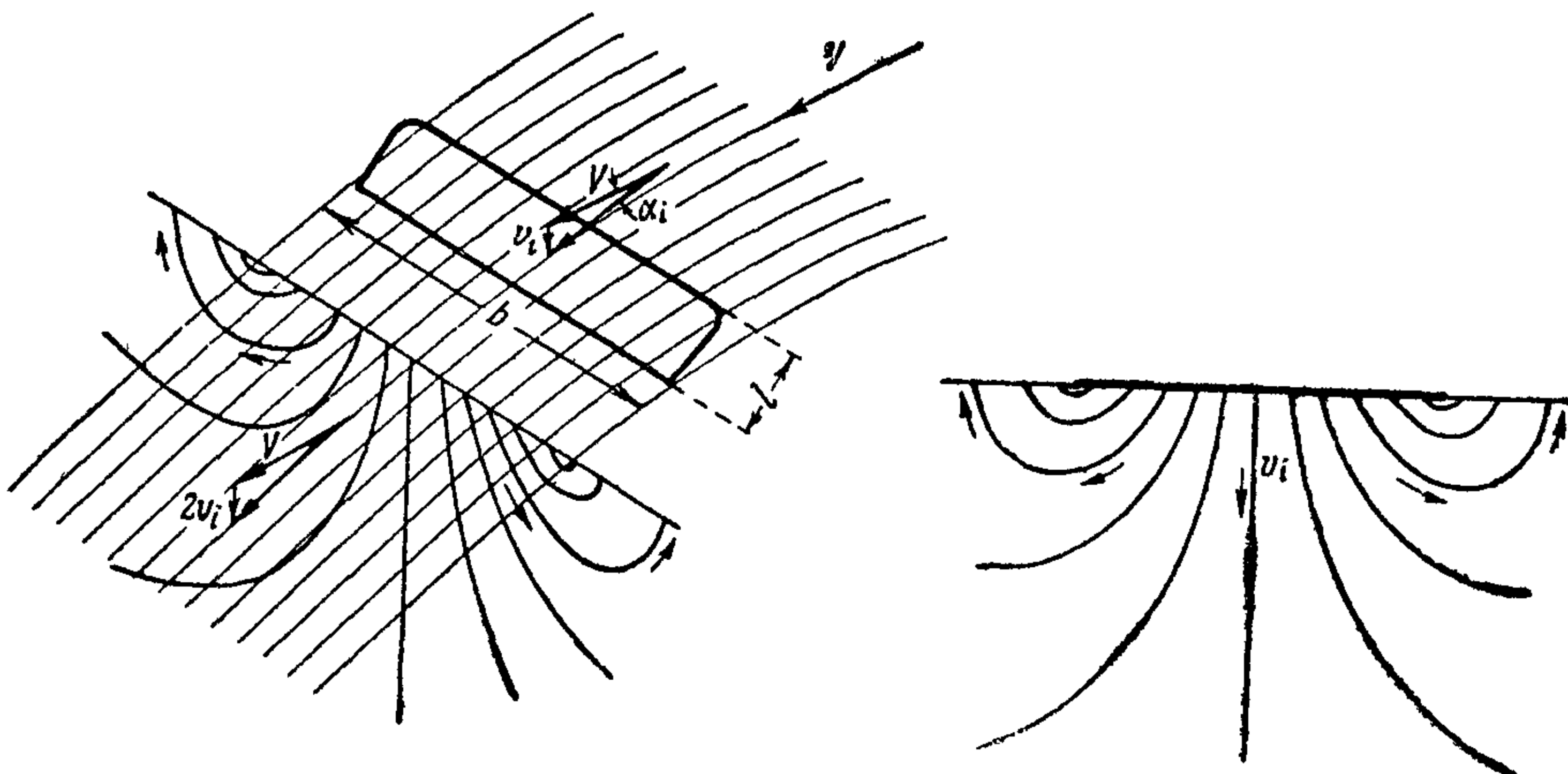
сходятся при достаточно малых ν , т. е. для больших значений числа Фруда.

Если в них положить $\nu = 0$, то они перейдут в формулы, полученные при помощи теории крыла (стр. 16).

Теоретические данные о характеристиках пластинок бесконечного размаха берутся в основу для получения теоретических данных для пластинок конечного размаха. Как видно из дальнейшего, в некоторых важных случаях конечность размаха учитывается только изменением угла атаки α . Плоская задача позволяет правильно учесть влияние продольного профилирования, правильно дает положение центра давления и распределение давлений в продольном направлении.

Учет конечной ширины

При движении пластинок конечной ширины движение воды имеет существенно трехмерный характер: наряду с продольным движением, выраженным особенно сильно вблизи глиссирующей поверхности при малых значениях $\frac{l}{b}$, имеется движение воды в поперечном направлении. Отесняемая вода устремляется к краям глиссирующей поверхности, главным образом, вперед и к боковым сторонам.



Фиг. 12

При больших значениях числа Fr_B и при малых углах атаки, поток, внешний к небольшой окрестности переднего и боковых краев слабо изогнутой глиссирующей поверхности, такой же, как и поток в нижней части полупространства около соответствующего тонкого крыла. Схематическое изображение этого потока дано на фиг. 12. Опираясь на эту аналогию, гидродинамические силы можно определить, пользуясь теорией крыла конечного размаха Прандтля.⁷

На смоченной части днища, благодаря поперечному движению, вода имеет дополнительно вертикальную составляющую скорости v_i . Значения v_i

изменяются как в продольном, так и в поперечном направлениях. Силы, действующие на бесконечно-тонкую полоску смоченной поверхности, выделенную двумя вертикальными плоскостями, параллельными скорости глсссирующей поверхности, вычисляются по формулам плоскопараллельного движения, считая при этом, что углы наклона элементов профиля к скорости глсссирующей поверхности уменьшены на величину $\alpha_i = \frac{v_i}{V}$. Это уменьшение углов наклона элементов профиля равносильно изменению угла атаки и искривлению профиля.

При $l < \frac{1}{3}b$ крыло можно заменить несущей линией. Поступая так, пренебрегают искривлением профиля и вводят только изменение угла атаки — скос потока у крыла. При эллиптическом законе распределения циркуляции значение α_i в поперечном направлении не изменяется. Во многих случаях, и в частности для плоских пластинок приблизительно прямоугольного очертания в плане, можно пренебречь изменениями α_i в поперечном направлении, принимая приближенно, что угол постоянен и что значение его соответствует эллиптическому закону распределения циркуляции для данной общей подъемной силы. Это значение α_i дается формулой:

$$\alpha_i = \frac{v_i}{V} = \frac{2T}{\pi\rho V^2 b^2} = \frac{4R}{\pi\rho V^2 b^2}$$

(здесь T заменено через $2R$, что законно в силу допущений теории).

Следовательно, в этом случае все влияние конечной ширины сводится к изменению угла атаки. Все силы вычисляются по формулам плоскопараллельного движения, в которых угол атаки α нужно заменить через эффективный угол атаки $\alpha_w = \alpha - \alpha_i$.

Вследствие скоса потока появляется индуктивное сопротивление:

$$W_i = R\alpha_i = \frac{4R^2}{\pi\rho V^2 b^2},$$

составляющее половину индуктивного сопротивления соответствующего крыла.

Индуктивное сопротивление можно подсчитать как энергию, остающуюся за глсссирующей поверхностью на единицу пройденного пути.

Далеко за глсссирующей поверхностью весомость воды проявляется заметно, общая картина волнового движения отличается от соответствующего движения жидкости за крылом. Однако, если учесть, что весомость на движении воды непосредственно около глсссирующей поверхности почти не отзывается, а энергия волн складывается из энергии первоначальных возмущений, то ввиду консерватизма как весомой, так и невесомой жидкости, потоки обеих жидкостей (различные на больших расстояниях) вдалеке от глсссирующей поверхности обладают одним и тем же расходом энергии. Следовательно, при очень больших значениях числа Fr_B индуктивное сопротивление, определенное по теории невесомой жидкости, должно давать приближенное значение волнового сопротивления тяжелой жидкости.

Из двух последних формул следует, что угол скоса и индуктивное сопротивление W_i определяются значениями R , b и V и не зависят от кривизны профиля в продольном направлении или от распределения давления.

Вводя коэффициент c_B , называемый коэффициентом динамической нагрузки, силу R представляют в виде:

$$R = c_B \frac{\rho b^2 V^2}{2}.$$

Из общего закона механического подобия, если пренебречь влиянием вязкости на величину силы R , следует, что коэффициент c_B для данного

профиля зависит только от числа Фруда, от отношения $\frac{l}{b}$ и от угла атаки α :

$$c_B = c_B \left(Fr, \frac{l}{b}, \alpha \right).$$

Для больших значений числа Фруда и малых углов атаки вид этой функции легко установить теоретически.

Для профиля изогнутого по дуге круга:

$$R = \frac{\pi \rho V^2}{2} l \left(\frac{2f}{l} + a - a_i \right) = \frac{\pi \rho V^2}{2} l \left(\frac{2f}{l} + a - \frac{4R}{\pi \rho V^2 b^2} \right),$$

откуда:

$$R = \frac{\pi \frac{l}{b} \left(\frac{2f}{l} + a \right)}{1 + 2 \frac{l}{b}} \frac{\rho V^2 b^2}{2}$$

Следовательно, в этом случае

$$c_B = \frac{\pi \frac{l}{b} \left(\frac{2f}{l} + a \right)}{1 + 2 \frac{l}{b}}.$$

В частности, для плоской пластинки, если учитывать зависимость силы R от угла атаки по формуле: $R = k\pi \frac{\rho V^2}{2} b l a$, то для коэффициента c_B получится формула:

$$c_B = \frac{k\pi \frac{l}{b} a}{1 + 2k \frac{l}{b}}.$$

При данном c_B эта формула определяет зависимость между a и $\frac{l}{b}$. Зотторфом² и Замбраусом¹⁰ были произведены серии опытов с плоскими пластинками при постоянных значениях коэффициента c_B . На фиг. 13 представлены результаты этих опытов для трех значений c_B , а именно: 0,218; 0,109; 0,0545. Скорость в опытах Замбрауса с пластинками шириной 0,15 м пересчитана по закону подобия Фруда для пластинки шириной 0,3 м.

Кривая A получена соединением экспериментальных точек, соответствующих наибольшим значениям числа Фруда, полученным в опытах. Эта кривая ближе всего отражает соотношения при пренебрежении весомостью.

Кривая B , нанесенная пунктиром, получена из опытов Винтера с прямоугольным крылом. Кривая A почти совпадает с кривой B . Это служит хорошим подтверждением аналогии между глissiрующей и несущей поверхностями.

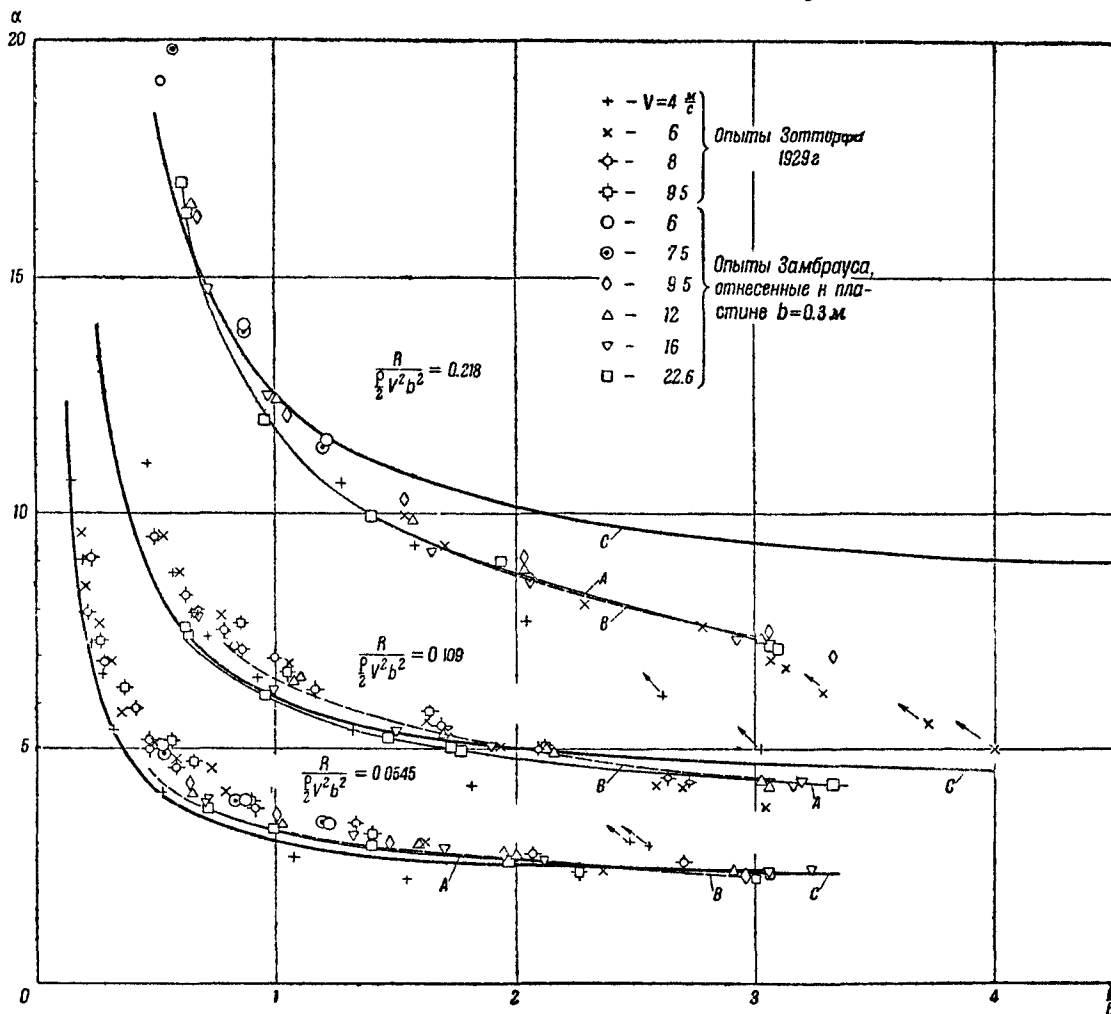
Кривая C — теоретическая кривая, полученная с помощью формулы

$$c_B = \frac{k\pi \frac{l}{b} a}{1 + 2k \frac{l}{b}} \quad (\text{при помощи теории несущей линии}). \quad \text{Эта теоретическая}$$

кривая близка к экспериментальным данным при малых значениях $\frac{l}{b}$;

совпадение этой кривой для некоторых нагрузок с опытными результатами при больших значениях $\frac{l}{b}$ можно рассматривать как случайность. При $\frac{l}{b} > 1,5$, при больших значениях c_B , кривая С идет выше опытных значений; при малых c_B имеются экспериментальные точки, расположенные выше кривой С.

Разброс экспериментальных точек на фиг. 13 (и 14) может быть объяснен влиянием числа Fr_B . При больших значениях $\frac{l}{b}$ это влияние для сред-



Фиг. 13

них значений числа Фруда в первом приближении можно учесть введением гидростатических сил. Для плоской пластинки гидростатическую силу можно вычислить по формуле:

$$A_s = \rho g b \left(\frac{l_0}{l} - 0,5 \right) l^2 \alpha = 2 \frac{l^2}{b^2} \left(\frac{l_0}{l} - 0,5 \right) \frac{\alpha}{Fr_B^2} \frac{\rho V^2 b^2}{2}$$

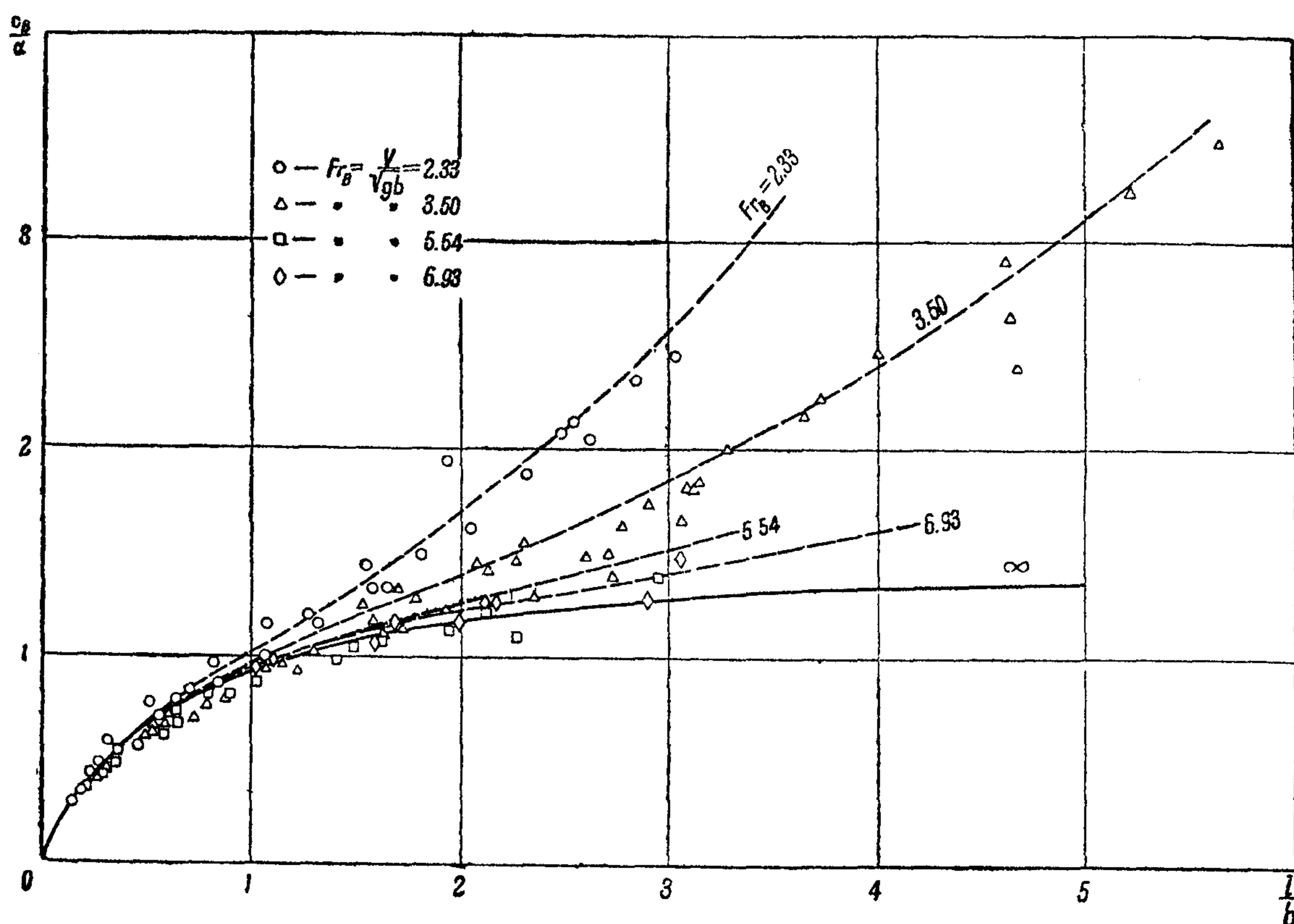
Отношение $\frac{l_0}{l}$ можно взять из опыта. При выводе этой формулы не учтено изменение смоченной длины по ширине пластинки. Для коэффициента c_B можно указать эмпирическую формулу, исходя из приведенной выше теоретической формулы и из формулы для A_s :

$$\frac{c_B}{\alpha} = \frac{0,7 \pi \frac{l}{b}}{1 + 1,4 \frac{l}{b}} + \frac{l}{b} \left(0,92 \frac{l}{b} - 0,38 \right) \frac{1}{Fr_B^2}$$

Второй член этой формулы обусловлен гидростатической силой.

На фиг. 14 сопоставлены соответствующие этой формуле кривые для различных значений Fr_B с опытными данными Зотторфа и Замбрауса.

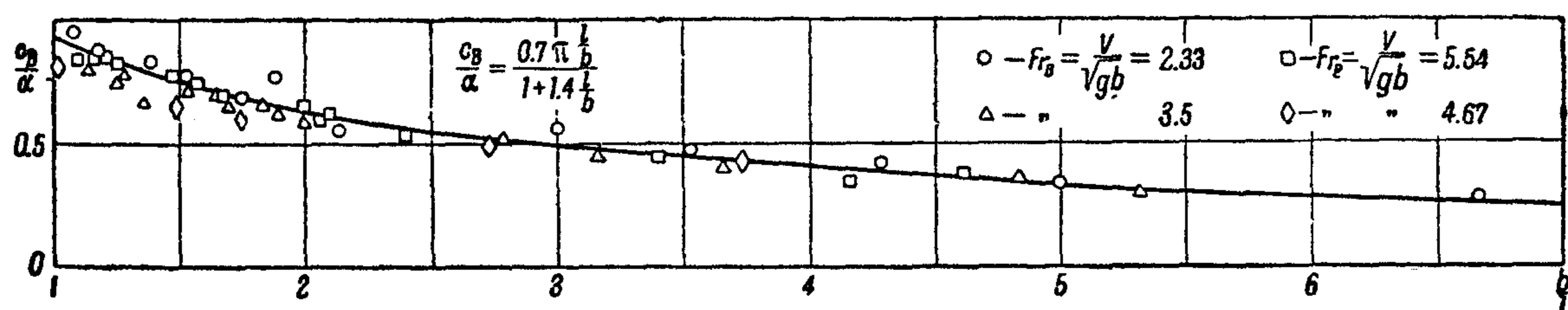
Влияние гидростатической силы при $\frac{l}{b} > 1$, сказывающееся в расхождении кривых на фиг. 14, подтверждается экспериментальными точками.



Фиг. 14

При $\frac{l}{b} < 1$, как видно на фиг. 14, можно пользоваться только первым членом формулы, а именно:

$$\frac{c_B}{a} = \frac{0,7 \pi \frac{l}{b}}{1 + 1,4 \frac{l}{b}}$$



Фиг. 15

На фиг. 15 дано графическое изображение этой зависимости в сопоставлении с данными опыта.

БИБЛИОГРАФИЯ.

1. Sottorf W. — Versuche mit Gleitflächen. — „Werft-Reederei-Hafen“ 1929, N. 21, p. 425—432, 14 ill.
2. Sottorf W. — Versuche mit Gleitflächen — „Werft-Reederei-Hafen“ 1932, N. 19, p. 286—290, 9 ill.

3. Wagner H. — Ueber Stoss- und Gleitvorgänge an der Oberfläche von Flüssigkeiten. — „ZAMM“ 1932, v. XII, N. 4, p. 192—215, 33 ill.
4. Barrillon E. G. — Au sujet de divergences entre la théorie et l'expérience dans les problèmes à deux dimensions portant sur un fluide avec surface libre. — „Hydromechanische Probleme des Schiffsantriebs“ 1932, p. 139—159, 12 ill.
5. Гуревич М. И. и Ямпольский А. Р. — О движении глссирующей пластинки. — „Техника возд. флота“ 1933, № 10, стр. 52—70, 13 илл.
6. Winter H. — Strömungsvorgänge an Platten und profilierten Körpern bei kleinen Spannweiten. — „Forschung a. d. Gebiete d. Ingenieurwesens“ 1935, v. VI, N. 1, p. 40—50; N. 2, p. 67—71, 3 ill.
7. Прандтль Л. и Титъенс О. — Гидро- и аэромеханика, том II. М.—Л. 1935, 283 стр.
8. Седов Л. И. Теория нестационарного глссирования и движения крыла со сбегаящими вихрями. — „Труды ЦАГИ“ 1936, № 252.
9. Green A. E. — The gliding of a plate on a stream of finite depth. — Proc. Cambridge philos. soc. 1935, v. XXXI, N. 4, p. 589—603; 1936, v. XXXII, N. 1, p. 67—85, 9 ill.
10. Sambr aus A. — Gleitflächenversuche bei grossen Froudeschen Zahlen und Tragflügelvergleich. — „Luftfahrtforschung“ 1936, v. XIII, N. 8, p. 269—280, 30 ill.
11. Седов Л. И. — Плоская задача о глссировании по поверхности тяжелой жидкости. — „Труды конференции по теории волнового сопротивления“ 1937, стр. 7—30, 5 илл.
12. Седов Л. И. К задачам о тонких полипланах тандем и о глссировании на нескольких реданах. — „Труды ЦАГИ“ 1937, № 325.

ТРЕНИЕ ПЛОСКИХ ПЛАСТИН

Сила, действующая со стороны жидкости на тело, движущееся внутри жидкости, может быть выражена формулой:

$$F = c_r \frac{\rho V^2 S}{2}.$$

Если F — сила трения на поверхности S , то коэффициент c_r для данного тела зависит от числа Рейнольдса

$$Re = \frac{VL}{\nu},$$

где V — некоторая характерная для течения скорость, и L — характерный размер.

Механизм трения был объяснен теорией пограничного слоя, предложенной Прандтлем (том I, стр. 33). С помощью этой теории удалось вывести теоретически обоснованную формулу для коэффициента трения плоских пластинок.

Коэффициент трения $c_r = \frac{F}{\rho \frac{V^2}{2} S}$ зависит от закона распределения скоростей в пограничном слое.

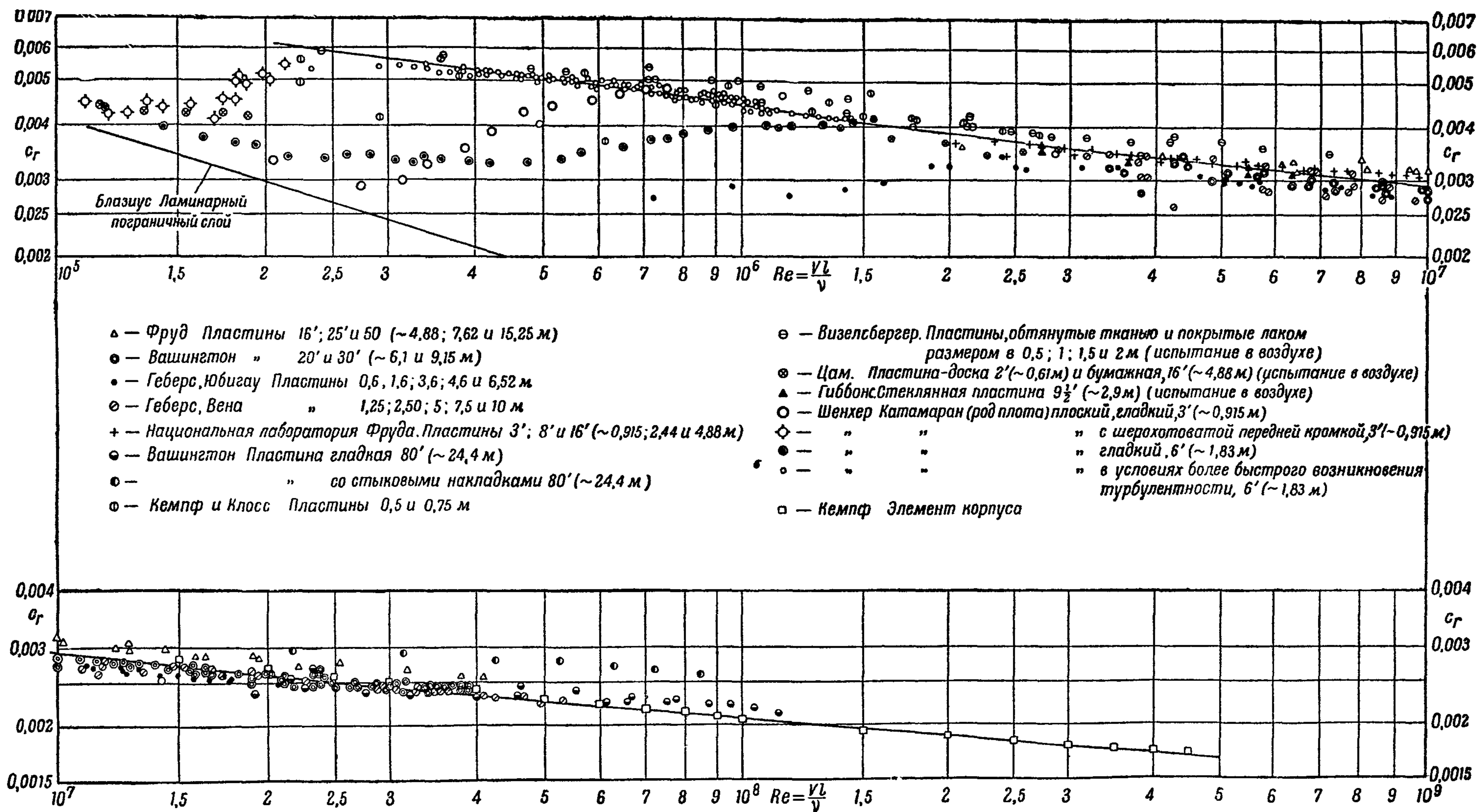
Значения c_r , отнесенного к полной поверхности трения, определяются по формулам:

для ламинарного пограничного слоя (формула Блазиуса):

$$c_r = \frac{1,33}{\sqrt{Re}};$$

для турбулентного пограничного слоя (формула Прандтля):

$$c_r = \frac{0,074}{\sqrt[5]{Re}},$$



Фиг. 16. Экспериментальные значения c_r для плоских пластин, расположенных параллельно потоку, по различным опытам в функции Re .
 На графике нанесены кривая Блазиуса и кривая с уравнением $\frac{0,242}{\sqrt{c_r}} = \lg (Re \cdot c_r)$

или по более точной формуле (формула Прандтля—Шлихтинга)¹:

$$c_r = \frac{0,455}{(\lg Re)^{2,58}}$$

для переходного, смешанного режима ($5 \times 10^5 \leq Re \leq 5 \times 10^6$) (формула Прандтля):

$$c_r = \frac{0,074}{\sqrt[5]{Re}} - \frac{1700}{Re},$$

или по более точной формуле:²

$$c_r = \frac{0,455}{(\lg Re)^{2,58}} - \frac{1700}{Re}.$$

При теоретических расчетах сопротивления трения глассирующих поверхностей обычно считают пограничный слой турбулентным и за характерную длину в числе Рейнольдса принимают смоченную длину l , взятую в направлении движения пластинки. Однако, вопрос о трении при глассировании разработан еще недостаточно. Опыты Зотторфа с масштабной серией плоских глассирующих пластин показывают, что для скоростей выхода на редан выгоднее в качестве характерного размера в числе Рейнольдса брать ширину модели, так как в этих опытах коэффициент трения для каждой пластины, испытанной при постоянной скорости и переменных углах атаки, не зависел от смоченной длины.

В таблице III приведены значения кинематического коэффициента вязкости ν воды в зависимости от температуры.

Т а б л и ц а III

t [град. С]	0	10	20	40
ν [$\frac{м^2}{с}$]	$1,78 \times 10^{-6}$	$1,3 \times 10^{-6}$	1×10^{-6}	$0,659 \times 10^{-6}$

На фиг. 16 приведены кривые коэффициентов трения пластин.³

Влияние шероховатости поверхности на сопротивление

С точки зрения гидродинамики поверхность будет технически гладкой тогда, когда величина неровностей будет мала по сравнению с толщиной пограничного слоя; в противном случае поверхность следует считать шероховатой.

Толщина пограничного слоя определяется следующими формулами:⁴

для ламинарного пограничного слоя: $\delta = \frac{3,4}{\sqrt{Re}} x;$

для турбулентного пограничного слоя $\delta = \frac{0,37}{\sqrt[5]{Re}} x.$

В обоих случаях x — расстояние от передней кромки до рассматриваемой точки, и число Рейнольдса равно:

$$Re = \frac{Vx}{\nu}.$$

Шероховатость на поверхности движущегося тела значительно увеличивает сопротивление движению за счет быстрого перехода ламинарного обтекания в турбулентное и образования вихрей за телом. Наиболее сильно влияет на сопротивление шероховатость передних частей поверхности, так

как (это видно из приведенных формул) в передних частях толщина пограничного слоя наименьшая.

При больших значениях числа Рейнольдса, с которыми обычно приходится иметь дело на практике, коэффициенты трения шероховатых пластин постоянны; они не зависят от числа Рейнольдса, в противоположность коэффициенту трения гладких пластин.

Шероховатости, встречающиеся в практике гидросамолетостроения, можно разделить на следующие типы:

- 1) пластина с рубцеватой поверхностью, с неровной окраской; средняя неровность этой шероховатости составляет 1 мм;
- 2) выступы и углубления от головок заклепок, расположенных на больших расстояниях друг от друга (неровность от этого доходит до 5 мм);
- 3) кромки и стыки обшивки.

Влияние общей шероховатости

Буксирование гладких и шероховатых пластин показало увеличение сопротивления у шероховатой пластины на 40% (шероховатость достигалась песком с диаметром зерна $d \approx 1\frac{1}{4}$ мм, причем на 1 см² приходилось до 60 зерен). Другими испытаниями показано, что при расположении шероховатой полоски в области передней части пластины увеличение сопротивления доходит до 16%, в то время, как при расположении ее ближе к задней кромке сопротивление возрастает только на 4%.⁵

Влияние заклепок

Было показано,⁶ что сопротивление глissирующих пластин с потайными заклепками на 5% больше, чем у гладких пластин; пластина со сварными и грибовидными головками имеет сопротивление на 12% больше, а наличие полукруглых головок дает увеличение сопротивления на 17%. Утопление заклепок на погруженной части днища гидросамолета уменьшает сопротивление на 5% при скорости выхода на редан и до 25% при скорости отрыва.⁷ Было также показано, что наличие заклепок, переводя поток из ламинарного в турбулентный, повышает c с 0,001 до 0,0065.

Влияние кромки и стыков

Малейшие неровности, образуемые от кромок пластин при обшивке корпусов, значительно увеличивают сопротивление. При испытании понтона⁵ ($l=77$ м), когда передняя кромка одной из пластин выступала из общей поверхности на 1,2 и 3 мм, сопротивление возросло соответственно на 2,6 и 16%. Уступы на понтоне, образованные расположением отдельных коробок длиной по 5 м одна за другой так, что задняя кромка передней коробки каждый раз была на 20 мм ниже, чем передняя кромка следующей коробки, увеличили сопротивление почти в 2 раза.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Prandtl L. — Diskussion zum Reibungswiderstand. — „Werft-Reederei-Hafen“ 1932, N. 14, p. 211—213, 3 ill.
2. Hoerner S. — Berechnung des Oberflächenreibungswiderstandes schneller Flugzeuge. — „Luftfahrtforschung“ 1935, v. XII, N. 6, p. 188—192, 8 ill.
3. Schoenherr K. E. — Resistance of flat surfaces moving through a fluid. — „Trans. of Soc. of naval architects and marine engineers“ 1932, v. XL, p. 279—297, 14 ill.
4. Прандтль Л. и Титъенс О. — Сопротивление трения при ламинарном пограничном слое. — „Гидро- и аэромеханика“ 1935, т. II, стр. 87—96, 4 илл.
5. Kempf G. — Neue Ergebnisse der Widerstandsforschung. — „Werft-Reederei-Hafen“ 1929, N. 11, p. 231.
6. Towing basin experiments. — „Aero digest“ 1935, v. XXVI, N. 6, p. 36.
7. Watter M. — Eleventh annual aircraft research conference. — „Aero digest“ 1936, v. XXVIII, N. 6, p. 48, 50, 84, 1 ill.

УДАР О ВОДУ

После соприкосновения кромки редана с поверхностью воды днище гидросамолета погружается в воду, скорость постепенно уменьшается и некоторая масса воды приводится в движение.

Если днище погружается достаточно быстро, противодействие воды в основном определяется силами инерции.

Величина силы удара зависит от целого ряда факторов: веса гидросамолета, размеров и формы днища, величины и направления скорости, ориентировки гидросамолета в момент соприкосновения его с поверхностью воды, упругости конструкции и состояния моря.

Если учитывать только инерцию воды, то справедлив будет общий закон подобия Ньютона, однако, в действительности на величину силы удара существенное влияние оказывает упругость конструкции гидросамолета. Поэтому, в общем случае, подобие при ударе требует сохранения постоянным числа Коши.

То обстоятельство, что число Коши зависит от скорости, заставляет предполагать, что не всегда и не для всех точек гидросамолета сила удара зависит от квадрата скорости, как то должно следовать из формул Ньютона.

Присоединенная инерция^{1 4 8 12}

„Присоединенной массой“ называется такая фиктивная масса (или момент инерции), которая, будучи присоединена к массе (или моменту инерции) движущегося в жидкости тела, может заменить инерцию окружающей его жидкой среды. Если при движении жидкость не отрывается от поверхности тела, то присоединенная масса зависит только от плотности жидкости и формы тела. Так как в общем случае характер движения жидкости различен при различных направлениях движения, то и присоединенная масса оказывается различной по различным направлениям. Совокупность всех присоединенных масс определяет присоединенную инерцию системы.

Выражение для живой силы жидкости в двухразмерном движении:

$$2T = m_x V_x^2 + m_y V_y^2 + m_\omega \omega^2 + 2m_{xy} V_x V_y + 2m_{x\omega} V_x \omega + 2m_{y\omega} V_y \omega$$

(где ω — угловая скорость вращения вокруг начала координат), показывает, что присоединенные массы m играют ту же роль при движении тела в жидкости, что и массы и моменты инерции при движении твердого тела в пустоте. Присоединенные массы при переходе от одной системы координат к другой преобразуются по формулам:

$$m_{x_1} = m_x \cos^2 \alpha + m_y \sin^2 \alpha + m_{xy} \sin 2\alpha,$$

$$m_{y_1} = m_x \sin^2 \alpha + m_y \cos^2 \alpha - m_{xy} \sin 2\alpha,$$

$$m_{x_1 y_1} = \frac{1}{2} (m_y - m_x) \sin 2\alpha + m_{xy} \cos 2\alpha,$$

$$m_{x_1 \omega_1} = (m_x y_0 - m_{xy} y_0 + m_{x\omega}) \cos \alpha + (m_{xy} y_0 - m_y x_0 + m_{y\omega}) \sin \alpha,$$

$$m_{y_1 \omega_1} = -(m_x y_0 - m_{xy} x_0 + m_{x\omega}) \sin \alpha + (m_{xy} y_0 - m_y x_0 + m_{y\omega}) \cos \alpha,$$

$$m_{\omega_1} = m_x y_0^2 + m_y x_0^2 - 2m_{xy} x_0 y_0 + 2(m_{x\omega} y_0 - m_{y\omega} x_0) + m_\omega,$$

где x_0 и y_0 — координаты нового начала в системе xOy , а α — угол между осями O_1x_1 и Ox .

В тех случаях, когда присоединенная масса теоретически вычислена быть не может, для определения ее пользуются экспериментальными методами, основанными или на сравнении частот колебаний тела в воде и воздухе, или на электрогидродинамической аналогии.

Присоединенные массы для некоторых тел

Двухразмерные тела для плоского движения, погруженные полностью
(все значения m даны на единицу длины)

Пластинка (фиг. 17):

$$m_x = 0; \quad m_y = \rho \pi a^2; \quad m_{xy} = m_{y\omega} = m_{x\omega} = 0; \quad m_\omega = \rho \frac{\pi}{8} a^4.$$

Эллиптический или круговой цилиндр (a — полуось, перпендикулярная к направлению движения):

$$m_y = \rho \pi a^2.$$

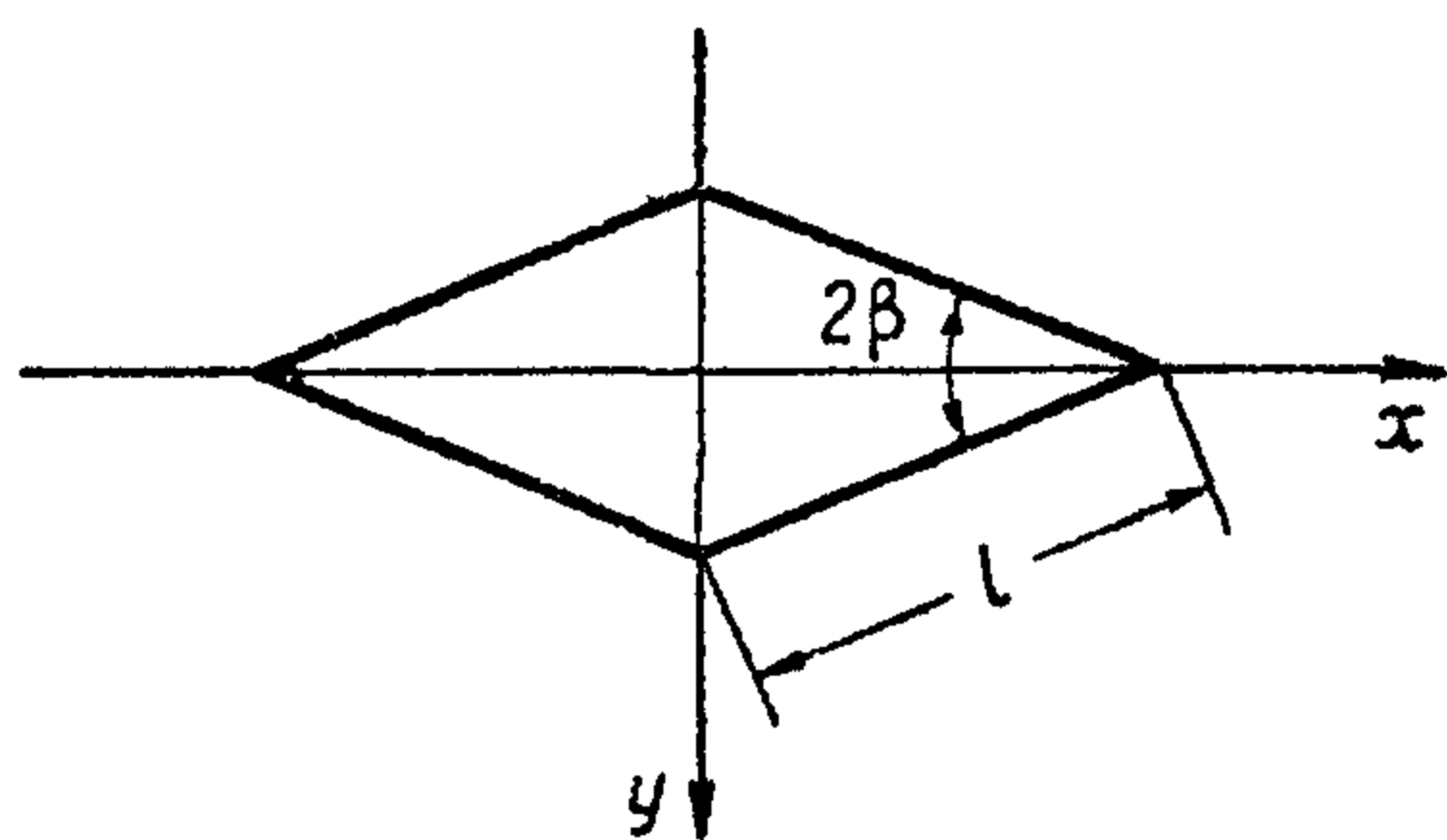
Призма с сечением в виде ромба (фиг. 18):

$$m_y = 2\rho c l^2,$$

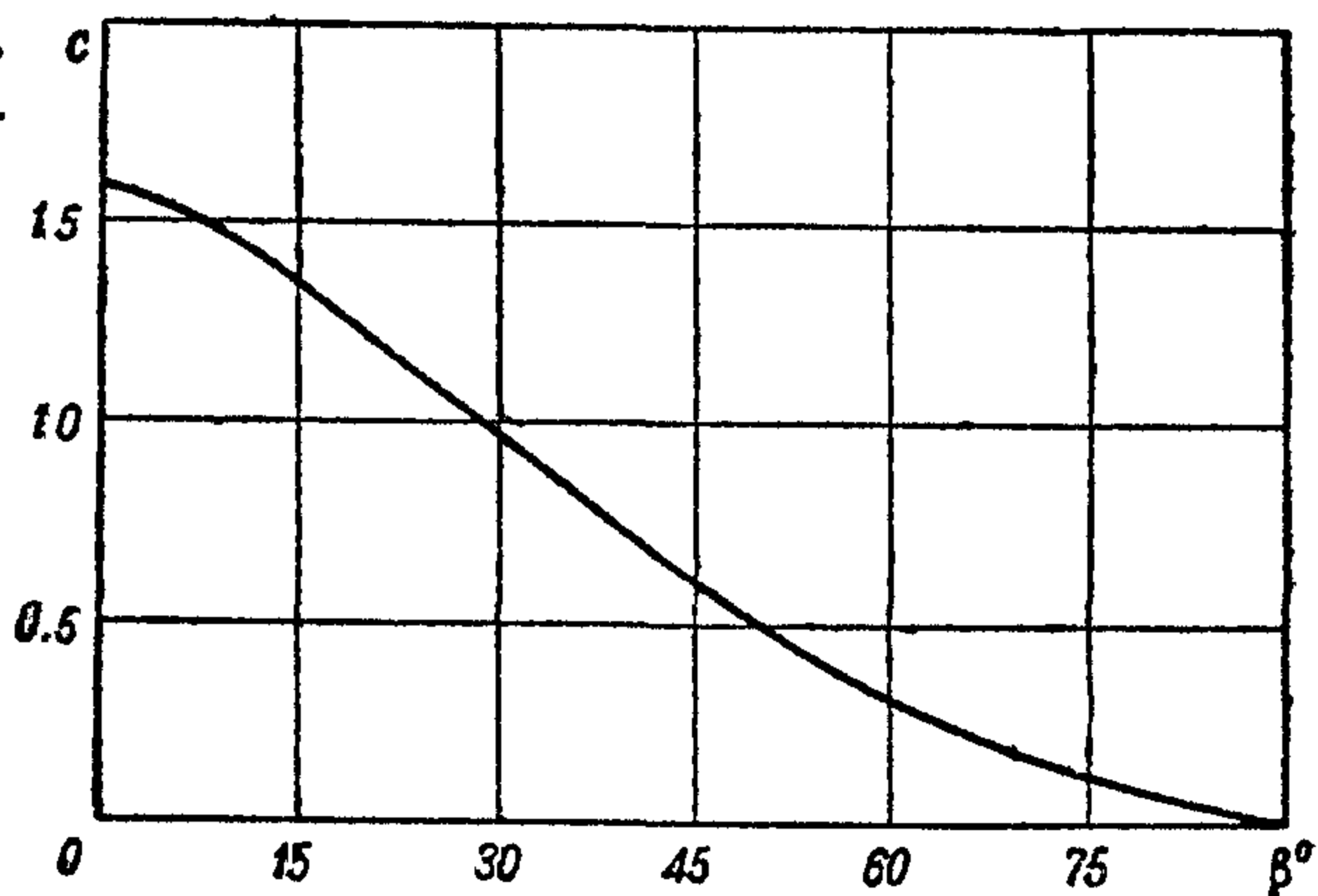
где

$$c = \frac{1}{2} \sin 2\beta \left[\frac{\Gamma\left(\frac{3}{2} - \frac{\beta}{\pi}\right) \Gamma\left(\frac{\beta}{\pi}\right)}{\Gamma\left(\frac{\beta}{\pi} + \frac{1}{2}\right) \Gamma\left(1 - \frac{\beta}{\pi}\right)} - 1 \right];$$

Γ — функция Эйлера первого рода. На фиг. 19 дан график c в функции β .



Фиг. 18



Фиг. 19

Трехразмерные тела, погруженные полностью

Тонкий круглый диск радиуса a ,двигающийся перпендикулярно к своей плоскости:

$$m = \rho \frac{8}{3} a^3.$$

Прямоугольная пластина, со сторонами $2a$ и $2b$ и с конечным отношением сторон,двигающаяся перпендикулярно к своей плоскости:

$$m \approx 2\pi \rho \frac{a^2 b^2}{\sqrt{a^2 + b^2}} \left(1 - 0,425 \frac{ab}{a^2 + b^2} \right).$$

Если $a \gg b$, то

$$m \approx 2\pi \rho (ab^2 - 4b^3)$$

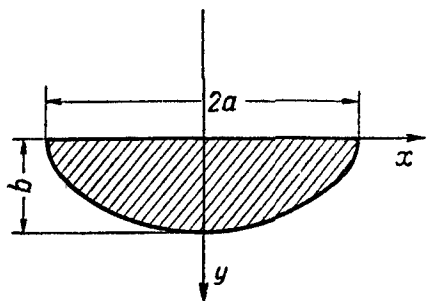
(обе формулы получены эмпирически, путем сравнения частот свободных колебаний в воде и воздухе упруго подвешенных пластинок)^{4 5}.

Тела, погруженные наполовину и плавающие на поверхности жидкости

Для тел, плавающих на поверхности, m_y — присоединенная масса по направлению, перпендикулярному к поверхности жидкости будет равна половине присоединенной массы для полностью погруженного тела, образованного

присоединением к погруженной части зеркального ее изображения (т. е. присоединенная масса, например, клина, с длиной погруженной стороны l , будет равна половине присоединенной массы соответствующего ромба).

Присоединенные массы по другим направлениям в этом случае уже изменятся и, например:



Фиг. 20

для эллиптического цилиндра, погруженного на величину полуоси b (фиг. 20), будет на единицу длины:

$$m_x = \rho \frac{2}{\pi} b^2; \quad m_y = \rho \frac{\pi}{2} a^2; \quad m_{xy} = m_{y\omega} = 0;$$

$$m_{x\omega} = \frac{1}{3} \rho b (b^2 - a^2); \quad m_\omega = \rho \frac{\pi}{16} (a^2 - b^2)^2;$$

для плавающей пластинки ($b=0$):

$$m_x = 0; \quad m_y = \rho \frac{\pi}{2} a^2; \quad m_{xy} = m_{y\omega} = m_{x\omega} = 0; \quad m_\omega = \rho \frac{\pi}{16} a^4,$$

т. е. половина значений, полученных для полностью погруженной пластинки; для пластинки, погруженной вертикально ($a=0$):

$$m_x = \rho \frac{2}{\pi} b^2; \quad m_y = m_{xy} = m_{y\omega} = 0; \quad m_{x\omega} = \rho \frac{1}{3} b^3; \quad m_\omega = \rho \frac{\pi}{16} b^4.$$

При пользовании всеми формулами следует иметь в виду, что они предполагают безотрывное течение, что строго справедливо для случая удара лишь при отсутствии горизонтальной скорости (т. е. когда существенной является только величина m_y).⁷

Изменение присоединенных масс в зависимости от близости твердых стенок и дна

Если не рассматривать чрезвычайной близости, то присутствие твердых стенок или дна незначительно увеличивает присоединенную массу. Практический интерес имеет влияние дна.

Таблица IV показывает влияние на присоединенную массу отношения $\frac{h}{a}$ (глубины воды к полуширине пластинки)⁹.

Таблица IV

$\frac{h}{a}$	∞	5	1
$\frac{m_h}{m_\infty}$	1	1,03	1,165

Удар твердого тела о воду⁷

При посадке гидросамолета на воду имеет место весьма быстрое, неустановившееся погружение корпуса его в воду. Для изучения посадки пользуются теорией удара тела о воду (рассматривающей в момент удара мгновенное изменение скоростей).

Постановка задачи следующая: на поверхности жидкости плавает твердое тело; под действием внезапно приложенного импульса тело и жидкость начинают двигаться.

Если рассматривать только движение тела, то влияние жидкости сказывается лишь на изменении (увеличении) инерции тела за счет присоединенной инерции.

Если присоединенная инерция известна, то проекции импульса со стороны жидкости на тело выражаются формулами:

$$\begin{aligned} K_x &= m_x V_x + m_{xy} V_y + m_{x\omega} \omega, \\ K_y &= m_y V_y + m_{xy} V_x + m_{y\omega} \omega, \end{aligned}$$

а момент импульса относительно начала координат:

$$L = m_{x\omega} V_x + m_{y\omega} V_y + m_{\omega} \omega.$$

В частности, если симметричное тело движется поступательно вниз (вдоль оси Oy), то импульс, приложенный к телу, дается формулой:

$$K = m_y V_y,$$

где V_y — скорость тела после удара. Если до удара скорость этого тела была V_0 , то:

$$\begin{aligned} K &= \frac{m_0 m_y}{m_0 + m_y} V_0, \\ V_y &= \frac{m_0}{m_0 + m_y} V_0, \end{aligned}$$

где m_0 — масса тела.

Вертикальное погружение твердого тела в воду

На фиг. 21 изображено распределение давления для трех, последовательно взятых, моментов погружения весьма длинного призматического тела с килеватым днищем.

Так как давление на днище в сущности есть реакция воды против приведения ее в движение вниз, то максимальное давление возникает у края поверхности удара. В середине днища вода уже имеет скорость вниз, в то время как у края поверхности удара вода, до того имевшая даже небольшую скорость вверх, получает движение вниз. Давление в центре уменьшается еще благодаря тому, что если масса погружающегося тела конечна, то скорость его непрерывно уменьшается; следовательно, должна уменьшать свою скорость и приведенная в движение вода; это замедление вызывает отрицательное давление (составляющее долю общего), которое в середине будет больше, чем к краям. При небольшой массе тела и значительной поверхности удара, может даже получиться, что в середине днища общее давление окажется отрицательным, в то время как у краев оно будет положительным.

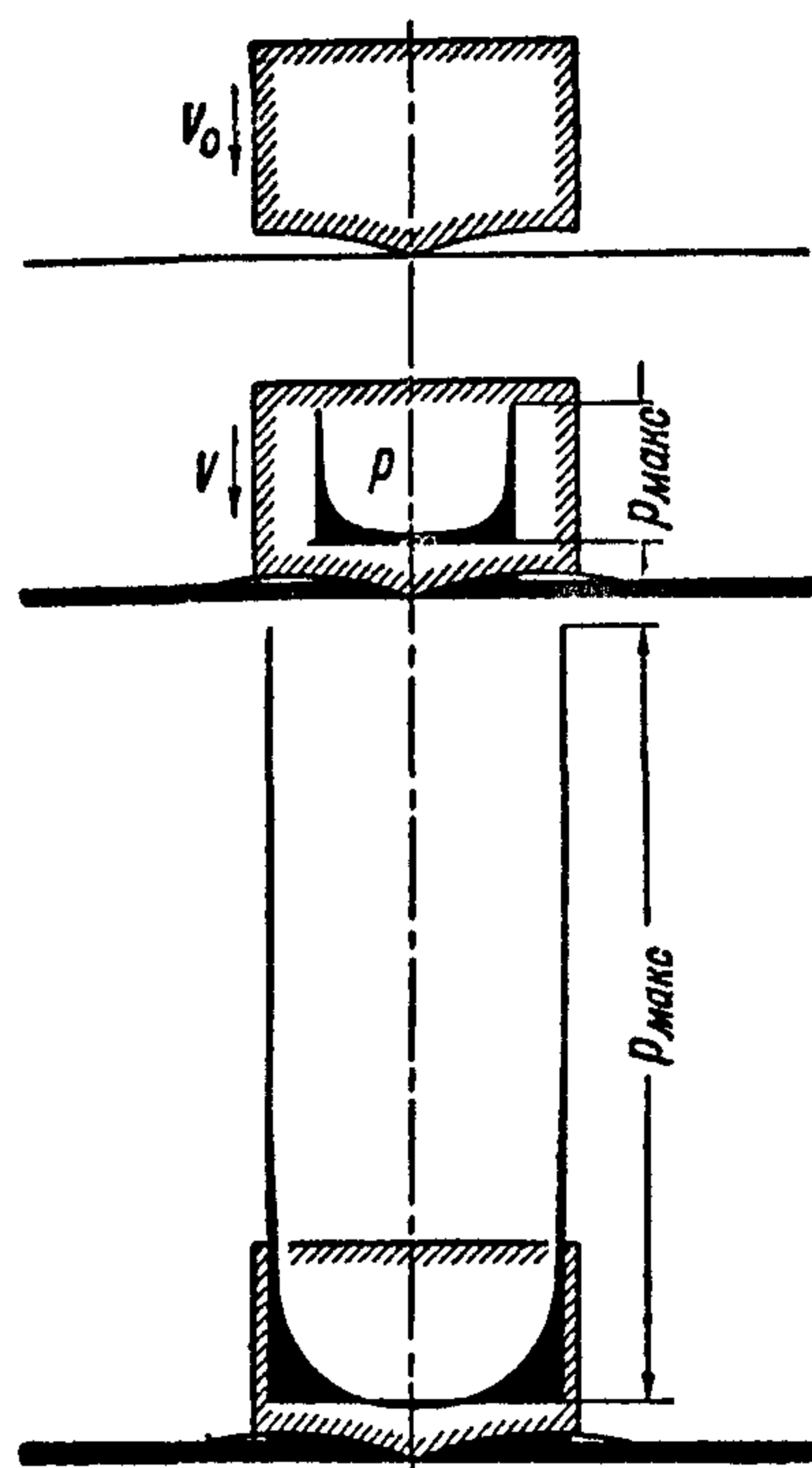
Прилагая закон количества движения к системе тело — жидкость и рассматривая присоединенную массу m , как явную функцию погружения h , для силы удара получают следующую формулу:

$$P = \frac{V_0^2 m_0}{(1 + \mu)^3} \frac{d\mu}{dh} = \frac{V_0^2}{(1 + \mu)^3} \frac{dm}{ah},$$

где m_0 — масса тела;

m — присоединенная масса;

$$\mu = \frac{m}{m_0};$$



Фиг. 21

V_0 — скорость входа тела в воду;
 V — истинная скорость движения тела в данный момент;
 h — погружение тела.

Считают, что присоединенная масса при погружении весьма длинного призматического тела в каждый данный момент равна присоединенной массе для плоской пластинки, шириной, равной ширине смоченной поверхности днища, т. е. заменяют погружение такого днища обтеканием непрерывно расширяющейся плоской пластинки, скорость расширения которой равна скорости увеличения смоченной поверхности днища, а скорость обтекания равна скорости погружения. Это допущение, которое тем справедливее, чем меньше килеватость, дает возможность вычислить и силу удара и распределение давления.

При малых углах килеватости необходимо учитывать эффект встречного движения жидкости, вытесняемой погружающимся телом, которое увеличивает смоченную поверхность и изменяет скорость распространения поверхности удара.

Для учета встречного движения воды достаточно определить величину:

$$u = \frac{V}{\frac{dc}{dt}} = \frac{dh}{dc}$$

(здесь c — полуширина поверхности удара).

Если форма днища $y(x)$ может быть выражена в виде ряда (начало координат на киле, ось Ox горизонтальна, ось Oy направлена вверх):

$$y(x) = \beta_0 x + \beta_1 x^2 + \beta_2 x^3 + \dots,$$

то может быть доказано, что

$$u(c) = k_0 \beta_0 + k_1 \beta_1 c + k_2 \beta_2 c^2 + \dots,$$

где

$$k_n = \frac{1}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^n \alpha \, d\alpha} = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \frac{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot \dots \cdot n}{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot (n-1)} & (n - \text{четное}) \\ \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot n}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot \dots \cdot (n-1)} & (n - \text{нечетное}). \end{cases}$$

Для первых восьми коэффициентов приведенная выше формула дает следующие значения:

$$\begin{aligned}
 k_0 &= 0,636; & k_1 &= 1,000; & k_2 &= 1,272; \\
 k_3 &= 1,500; & k_4 &= 1,696; & k_5 &= 1,875; \\
 k_6 &= 2,040; & k_7 &= 2,180.
 \end{aligned}$$

При вычислениях последовательно значений k_n удобно пользоваться формулой:

$$k_n = \frac{2n}{\pi k_{n-1}}.$$

Для определения k_n при значениях $n > 7$ можно пользоваться приближенной формулой:

$$k_n = 0,793 \sqrt{n - 0,4}.$$

В тех случаях, когда выразить форму днища в виде ряда трудно или даже вовсе невозможно (если, например, днище имеет углы), для определения $u(c)$ можно воспользоваться следующей формулой:

$$u(c) = \frac{2}{\pi} \left\{ \operatorname{tg} \beta + c \int_0^c \frac{d \left[\frac{y(x)}{x} \right]}{dx} \frac{dx}{\sqrt{c^2 - x^2}} \right\},$$

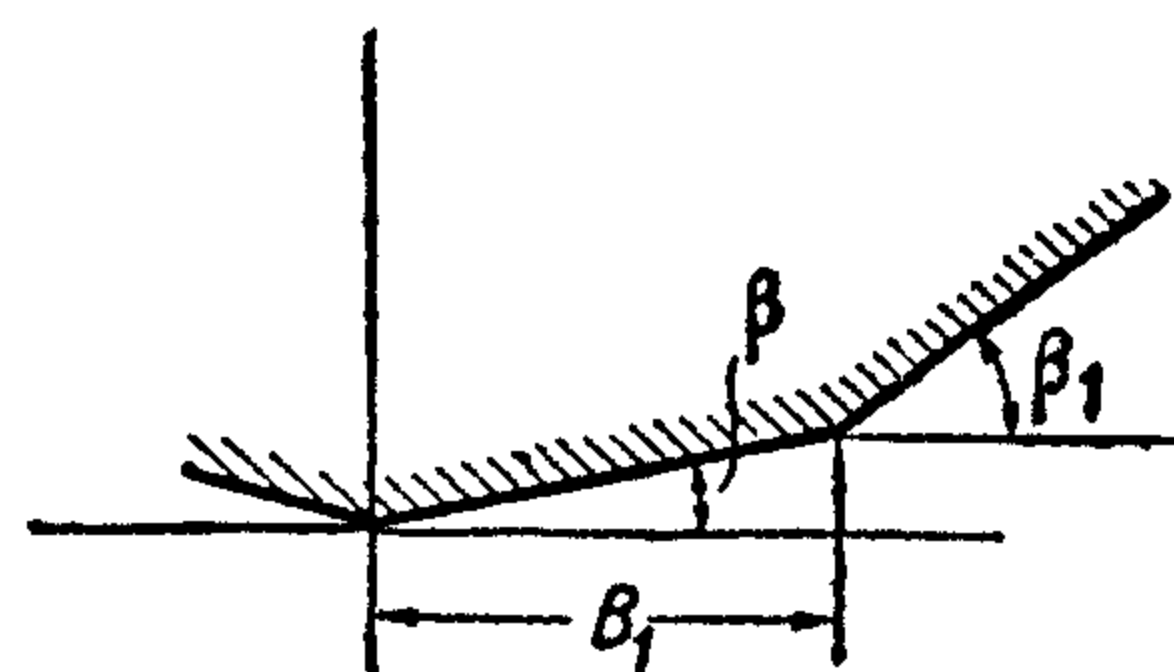
где β — угол килеватости у самого киля (в начале координат).

Если форма днища такова, что ее удобно представить в виде ломаной (фиг. 22), то для вычисления $u(c)$ существуют следующие формулы: на первом участке ($c < B_1$):

$$u(c) = \frac{2}{\pi} \operatorname{tg} \beta;$$

на втором ($c > B_1$):

$$u(c) = \frac{2}{\pi} \operatorname{tg} \beta + \frac{2}{\pi} (\operatorname{tg} \beta_1 - \operatorname{tg} \beta) \sqrt{1 - \frac{B_1^2}{c^2}}$$



Фиг. 22

и т. д.; переходя, таким образом, от одного участка к следующему, можно подсчитать значение $u(c)$ для всего днища.

Так как для плоской пластинки, шириной $2c$, присоединенная масса $m = \frac{\pi}{2} \rho c^2 l$ (где l — длина пластинки), и

$$\mu = \frac{\pi}{2m_0} \rho c^2 l,$$

то сила удара для профиля может быть приближенно представлена так:

$$P = \pi \frac{V_0^2}{(1 + \mu)^3} \frac{\rho c l}{u} = \frac{V_0^2}{(1 + \mu)^3} \frac{2\mu m_0}{uc}.$$

При постоянной ширине поверхности удара, сила удара будет достигать максимального значения при $\mu = \frac{1}{2}$, и при этом

$$P_{\max} = \frac{8}{27} \frac{V_0^2}{uc} m_0.$$

Каждой ширине поверхности удара соответствует некоторое наибольшее значение силы удара. Для получения максимума наибольших сил в эту формулу следует вставить наименьшее значение uc , проверив, может ли существовать на днище потребная ширина поверхности удара.

Давление в точке x днища, при ширине поверхности удара $2c$ определяется по формуле:

$$p(x, c) = \frac{V_0^2}{(1 + \mu)^2} \frac{\rho}{u} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + u^2 - \frac{x^2}{c^2}}} - \frac{2\mu}{1 + \mu} \sqrt{1 + u^2 - \frac{x^2}{c^2}} + \frac{cu}{\sqrt{1 + u^2 - \frac{x^2}{c^2}}} \frac{du}{dc} - \frac{1}{2} \frac{u}{\frac{c^2}{x^2} (1 + u^2) - 1} \right]$$

Везде, кроме границ удара, можно пренебречь членами порядка u и u^2 , и тогда:

$$p(x, c) = \frac{V_0^2}{(1 + \mu)^2} \frac{\rho}{u} \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{x^2}{c^2}}} - \frac{2\mu}{1 + \mu} \sqrt{1 - \frac{x^2}{c^2}} \right).$$

Возле самой же границы, при $x \rightarrow c$, будет:

$$p_{\text{макс}} = p(c, c) = \frac{1}{2} \rho \frac{V_0^2}{(1 + \mu)^2} \frac{1}{u^2} = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{dc}{dt} \right)^2,$$

т. е. на кромке поверхности удара давление максимально и равно скоростному напору жидкости, двигающейся со скоростью расширения поверхности удара.

Среднее давление на поверхности удара:

$$p_{\text{ср}} = \frac{\pi}{2} \rho \frac{V_0^2}{(1 + \mu)^3} \frac{1}{u};$$

максимальное давление:

$$p_{\text{макс}} = \frac{(1 + \mu) p_{\text{ср}}}{\pi} = \frac{(1 + \mu) P}{\pi S},$$

где S — площадь поверхности удара.

Все изложенные формулы применимы к мало килеватому днищу (с углом килеватости не выше 15°), и к такой посадке, когда длина поверхности удара много больше ширины. Под длиной поверхности удара здесь понимается протяженность смоченной поверхности по длине лодки или поплавка, от редана к носу. Если угол килеватости больше 15° , то правые части в приведенных формулах для силы удара должны быть уменьшены в отношении, равном:

$$v = 1 - \frac{\beta}{\pi} - 0,15 \frac{u}{\pi} - \frac{u}{\pi} \ln \frac{1}{u},$$

где β — угол (в радианах) наклона днища у края поверхности удара.

Приведенные выше формулы относятся к случаю центрального удара, когда равнодействующая проходит через центр тяжести. Для эксцентричного удара следует выполнить приведение массы гидросамолета m_0 к направлению удара; приведенная масса определяется по формуле:

$$m_r = m_0 \frac{i^2}{i^2 + r^2} = m_0 \kappa,$$

где i — радиус инерции гидросамолета;
 r — плечо силы удара относительно ц. т.;
 κ — коэффициент приведения,

и заменить во всех формулах m_0 через m_r .

Расчет посадочного удара ²¹

Для данного гидросамолета и для каждого значения длины ударяющейся части днища l существует одно значение ширины днища B_g , называемое „граничным“, при котором удар достигает максимальной величины.

При заданном l , если ширина днища возрастает сверх B_g , величина силы удара уже не увеличивается.

Величина B_g не зависит от килеватости, пока килеватость достаточно мала, чтобы можно было пренебречь квадратом угла, и настолько велика, чтобы можно было не учитывать упругости днища.

В этом случае:

$$B_g = 2 \sqrt{\frac{2}{5\pi} \frac{G_r}{\gamma l_{\max}}} = 0,713 \sqrt{\frac{G_r}{l_{\max}}}$$

или

$$\frac{G_r}{\gamma B_g^2 l_{\max}} = 1,96,$$

где G_r — приведенный вес гидросамолета в m (причем $G_r = \kappa G$); l_{\max} и B_g в m .

Для центрального удара ($G_r = G$)

летающей лодки или однопоплавкового гидросамолета:

$$\frac{G}{\gamma B_g^3} = 1,96 \frac{l_{\max}}{B_g}$$

двухпоплавкового или двухлодочного гидросамолета:

$$\frac{G}{2\gamma B_g^3} = 1,96 \frac{l_{\max}}{B_g}.$$

Следовательно, сила удара не зависит от ширины лодки, если отношение длины удара к ширине удовлетворяет следующему неравенству.

$$\frac{l}{B} > 0,5c_{\Delta_0}$$

(здесь $c_{\Delta_0} = \frac{G}{\gamma B^3}$; для существующих гидросамолетов значения c_{Δ_0} находятся в пределах 0,3—2,5).

Формулы для определения силы удара

Плоскокилеватое днище:

$$\begin{aligned} P_{\max} &\approx V_0^2 \frac{1}{\beta} (1 - \sqrt[3]{0,1\beta^2}) \sqrt{\rho l_{\max} m_r} \approx \\ &\approx 3,28 V_0^2 \frac{1}{\beta} (1 - \sqrt[3]{0,1\beta^2}) \sqrt{G_r l_{\max}}, \\ n_{\max} = \frac{P_{\max}}{G} &\approx 3,28 V_0^2 \frac{1}{\beta} (1 - \sqrt[3]{0,1\beta^2}) \sqrt{\kappa \frac{l_{\max}}{G}}, \end{aligned}$$

где κ — коэффициент приведения;

V_0 — нормальная к поверхности составляющая скорости;

(G и P в kg , l_{\max} в m , V_0 в m/c).

Эти формулы предполагают, что $\frac{l_{\max}}{B} > 0,5c_{\Delta_0}$. Член $(1 - \sqrt[3]{0,1\beta^2})$ представляет собой поправочный коэффициент $\bar{\sigma}$ (стр. 36), написанный в форме Мевеса²¹.

Криволинейнокилеватое днище. Если ширина днища не очень велика, так что максимум силы удара наступает при погружении скулы, то при форме днища, заданной уравнением:

$$y = \beta_0 x + \beta_1 x^2 + \beta_2 x^3 + \dots,$$

будет:

$$u_a = \frac{2}{\pi} \beta_0 + \beta_1 \frac{B}{2} + \frac{4}{\pi} \beta_2 \left(\frac{B}{2}\right)^2 + \dots$$

(через u_a обозначена величина u на скуле);
если задать форму днища в виде:

$$\bar{y} = \frac{y}{B} = \beta_0 \bar{x} - \beta_n \bar{x}^n,$$

то

$$u_a = \frac{2}{\pi} \beta_0 - k_n \beta_n,$$

где $k_n \approx 0,793 \sqrt{n - 0,4}$; $\bar{x} = \frac{x}{B/2}$.

В этом случае

$$P_{\text{макс}} = \frac{8}{27} m_r V_0^2 \frac{1}{u_a \frac{B}{2}} \left(1 - \frac{\beta_a}{\pi} - \sqrt{0,06 u_a}\right);$$

$$n_{\text{макс}} = \frac{8}{27g} x V_0^2 \frac{1}{u_a \frac{B}{2}} \left(1 - \frac{\beta_a}{\pi} - \sqrt{0,06 u_a}\right)$$

(β_a — угол β у скулы).

Формулы эти имеют в основном сравнительный характер, и надежное применение их должно быть ограничено сравнением днищ различных форм.

На фиг. 23—30 приведены, как примеры результатов расчетов, произведенных по указанным формулам, кривые силы удара $P(\bar{c})$, распределения давления $p(\bar{x}, \bar{c})$ и максимального давления $p(\bar{c}, \bar{c})$ для некоторых профилей (см. подобные профили на стр. 93—120), вычисленные по формулам плоской задачи.

Обозначения фиг. 23—30 следующие:

\bar{x}, \bar{y} — относительные координаты:

$$\bar{x} = \frac{x}{B/2}; \quad \bar{y} = \frac{y}{B/2},$$

\bar{c} — относительная полуширина поверхности удара:

$$\bar{c} = \frac{c}{B/2},$$

B — ширина редана.

Формулы, по которым построены графики, следующие:

$$P(\bar{c}) = \frac{4}{B} \frac{V_0^2}{(1 + \mu)^3} \frac{\mu m_0}{u \bar{c}} = \frac{2880 \bar{c}}{(1 + 0,314 \bar{c}^2)^3 u(\bar{c})} \quad [\text{кг}],$$

$$p(\bar{x}, \bar{c}) = \frac{10^{-4} V_0^2 \rho}{(1 + \mu)^2 u} \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\bar{x}}{\bar{c}}\right)^2}} - \frac{2\mu}{1 + \mu} \sqrt{1 - \left(\frac{\bar{x}}{\bar{c}}\right)^2} - \frac{1}{2} \frac{u}{\left(\frac{\bar{c}}{\bar{x}}\right)^2 - 1} \right] \left[\frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \right],$$

$$p(\bar{c}, \bar{c}) = \frac{\rho}{2} \frac{V_0^2}{(1 + \mu)^2 [u(\bar{c})]^2} = \frac{0,0459 \cdot 10^{-4}}{(1 + 0,314\bar{c}^2) [u(\bar{c})]^2} \left[\frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \right].$$

Принято было для расчета:

- $l = 1 \text{ м},$
- $B = 2 \text{ м},$
- $V_0 = 3 \text{ м/с},$
- $G = m_0 g = 5000 \text{ кг},$
- $\rho = 102 \text{ кг с}^2/\text{м}^4,$

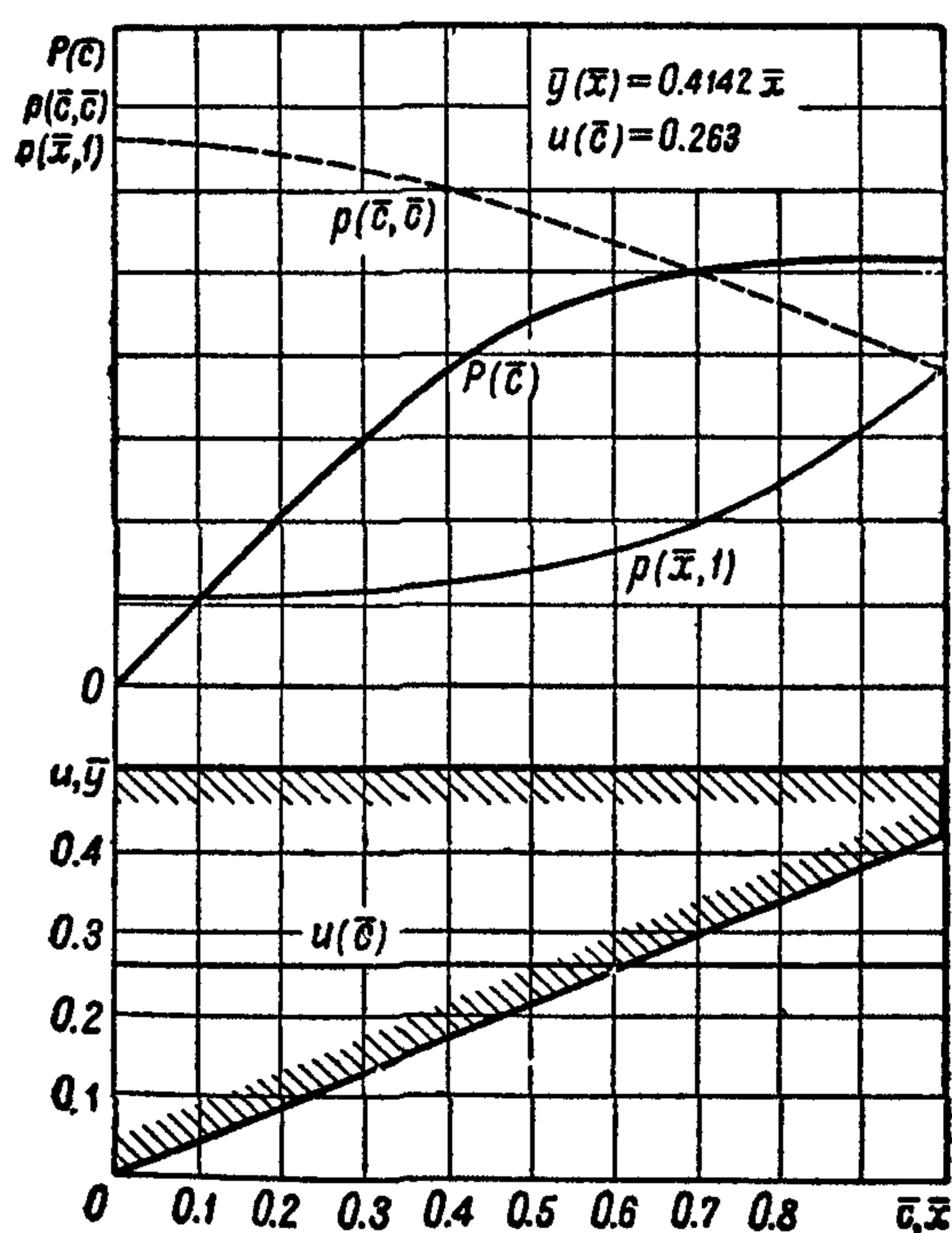
$$\mu = \left(\frac{B}{2}\right)^2 \frac{\pi \rho c^2 l}{2m_0} = 0,314\bar{c}^2.$$

Графики носят сравнительный характер; они позволяют только сравнивать друг с другом посадочные качества различных профилей.

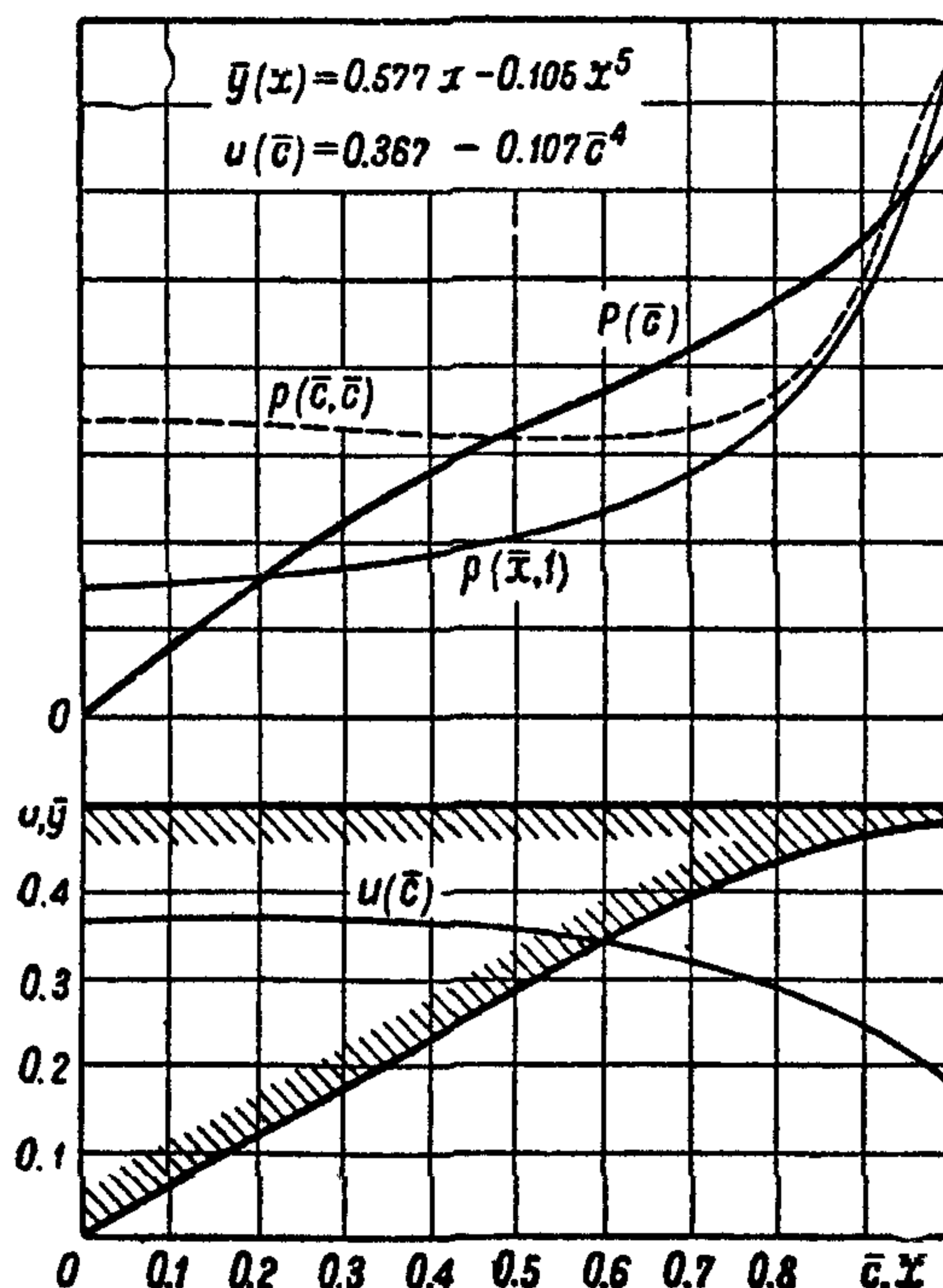
Для сравнения этих профилей при других условиях, кривые надо пересчитать по указанным формулам, причем изменение V_0 скажется только на изменении масштаба, а изменение B , G и l несколько изменит и форму кривых.

Распределение давлений $p(\bar{x}, \bar{c})$ построено для того значения полуширины удара (\bar{c}), для которого удар достигает своего максимума (если же сила удара обращается в бесконечность, то для такого значения \bar{c} , при котором сила P велика, но еще не бесконечна).

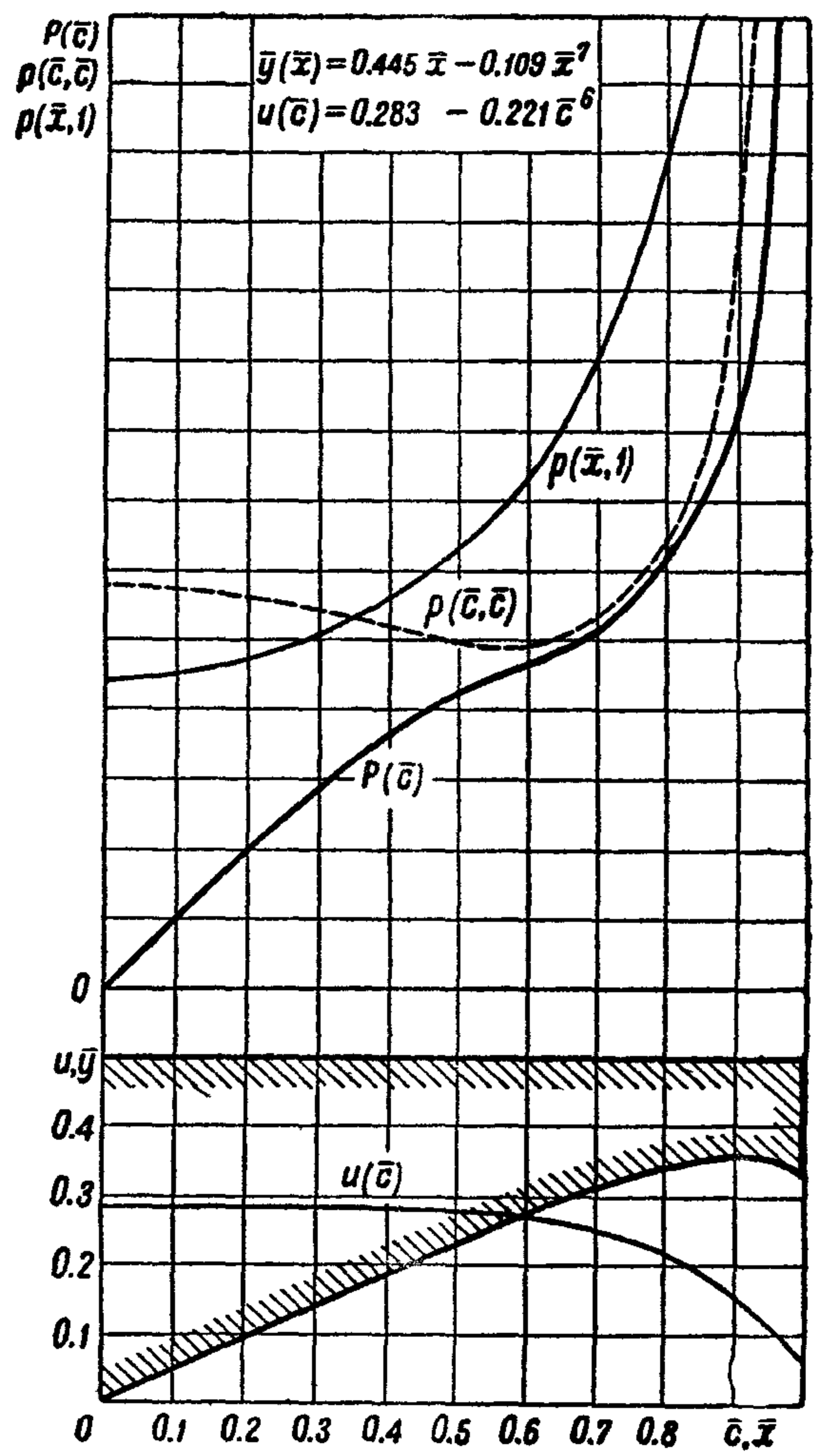
Функция $u(\bar{c})$ для профиля A постоянна; для других профилей она почти постоянна в центральной части и быстро падает там, где профиль начинает загибаться.



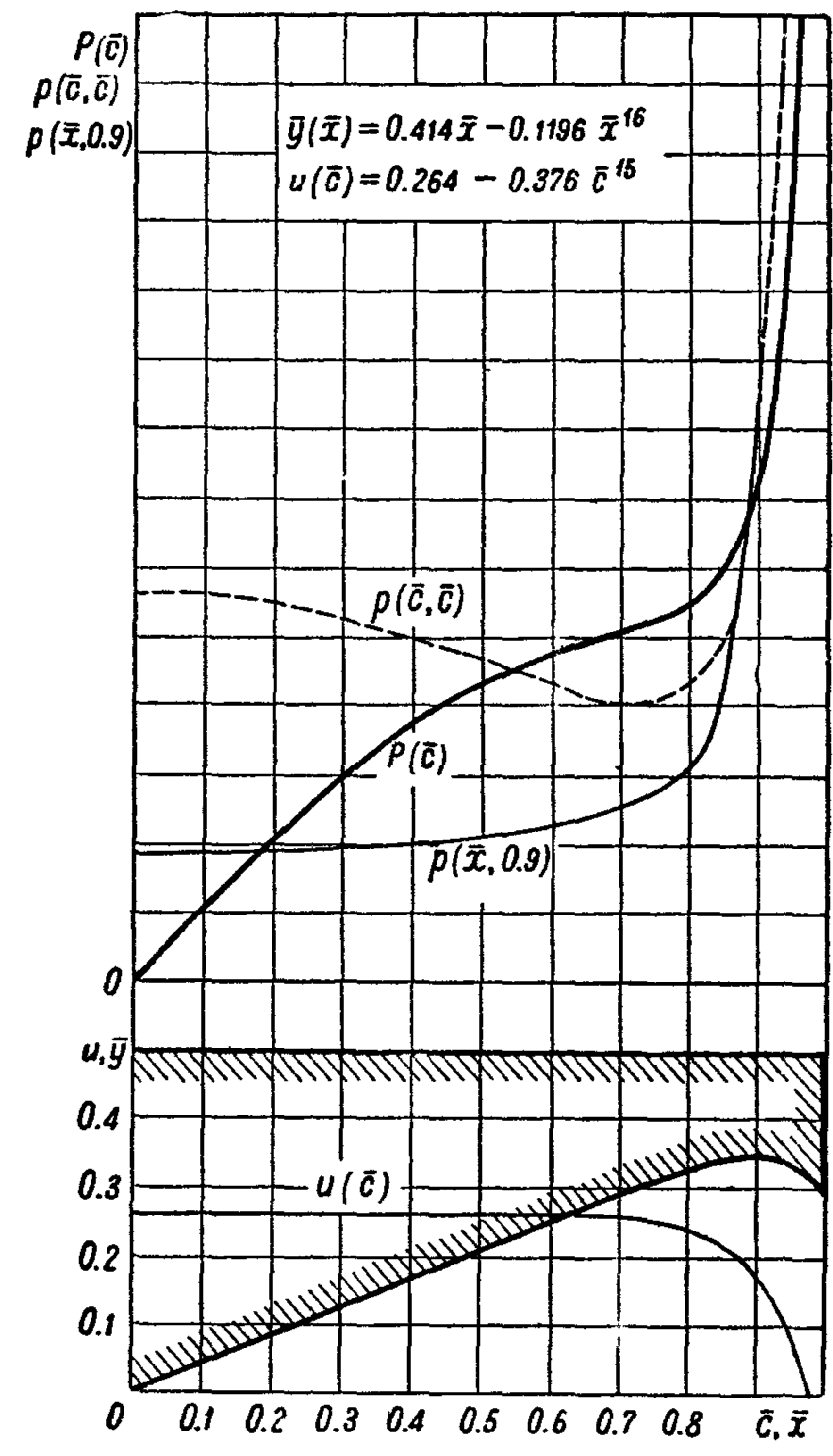
Фиг. 23. Профиль A (плоскокилеватый)



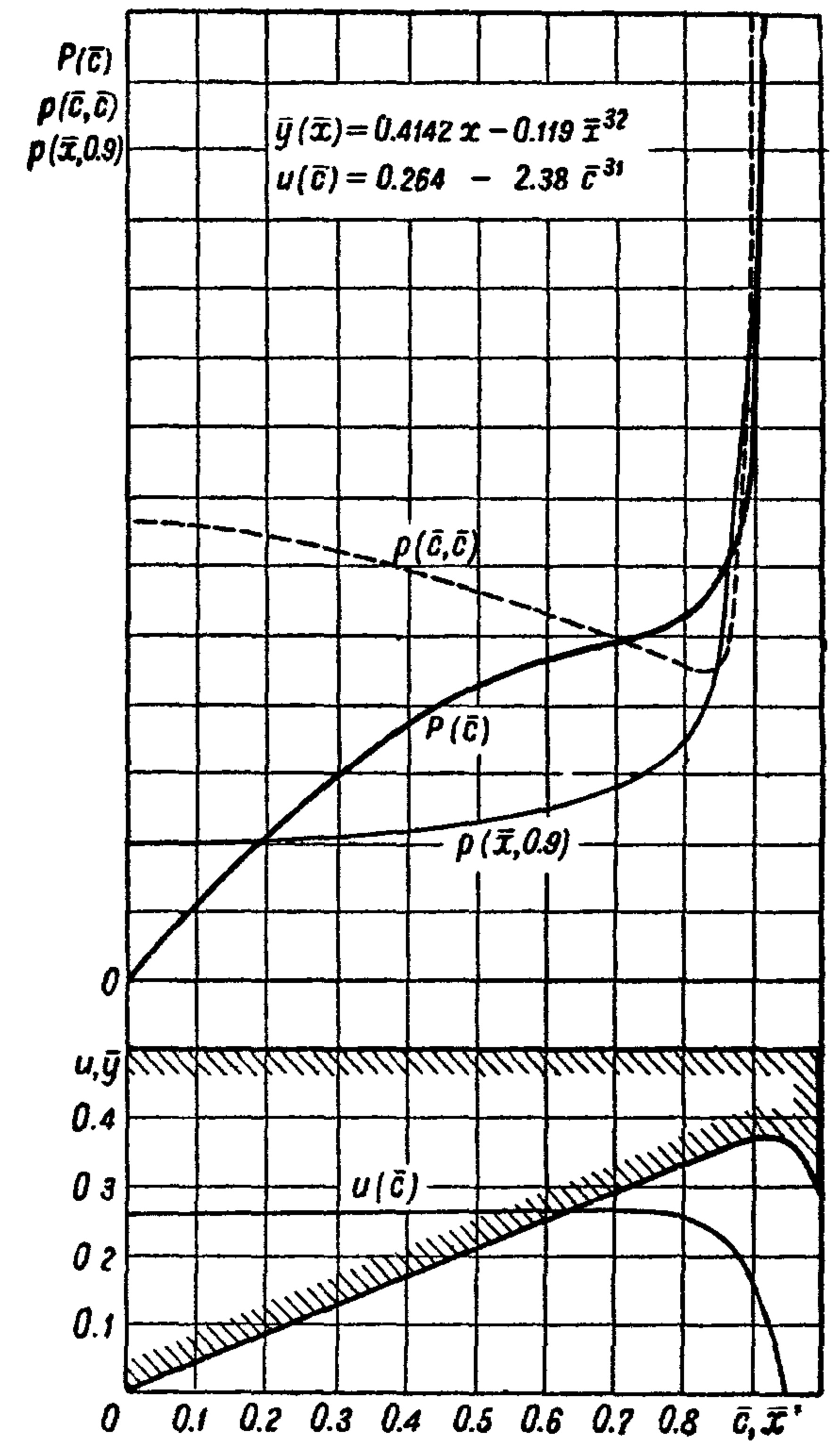
Фиг. 24. Профиль B



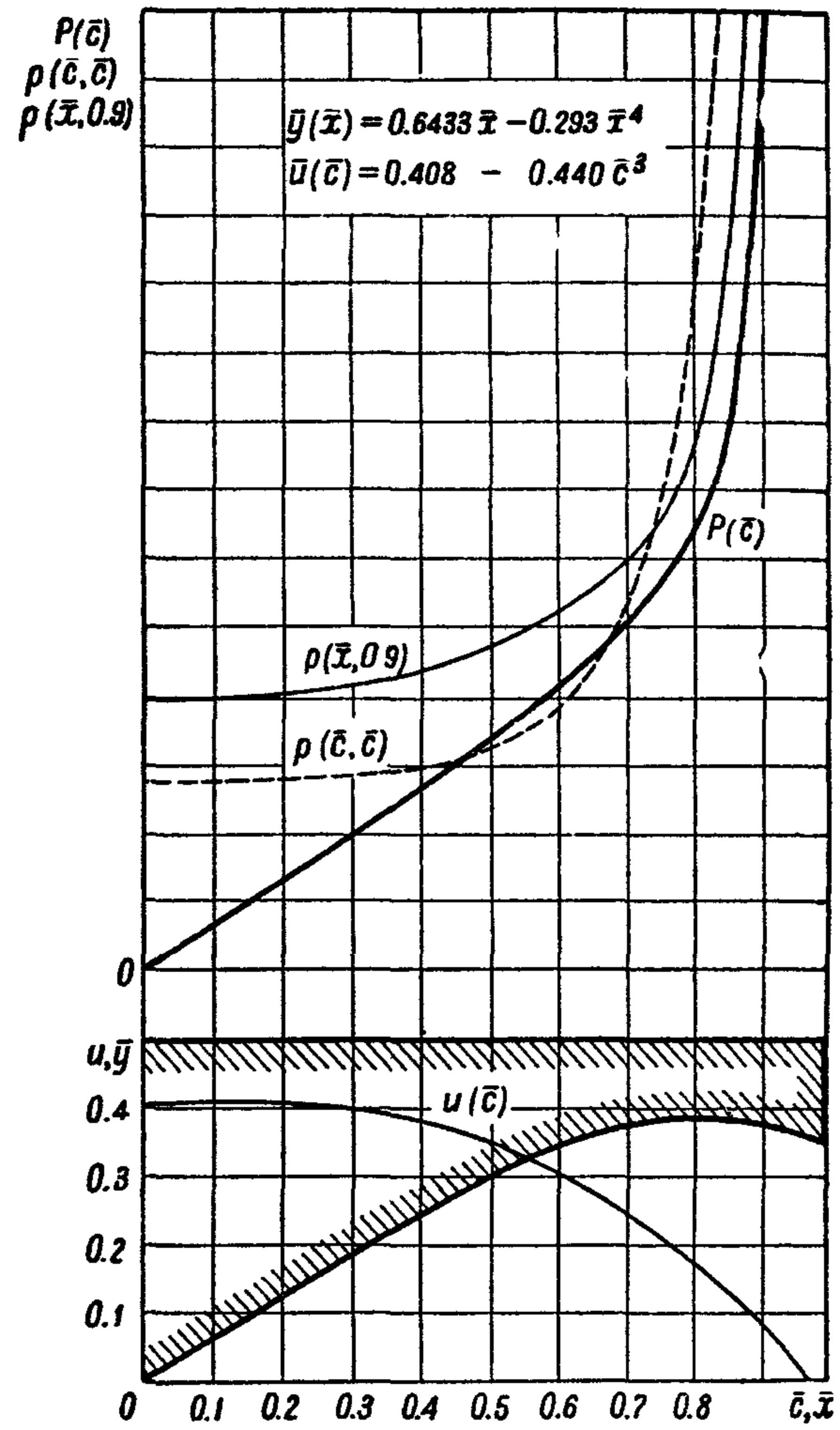
Фиг. 25. Профиль С



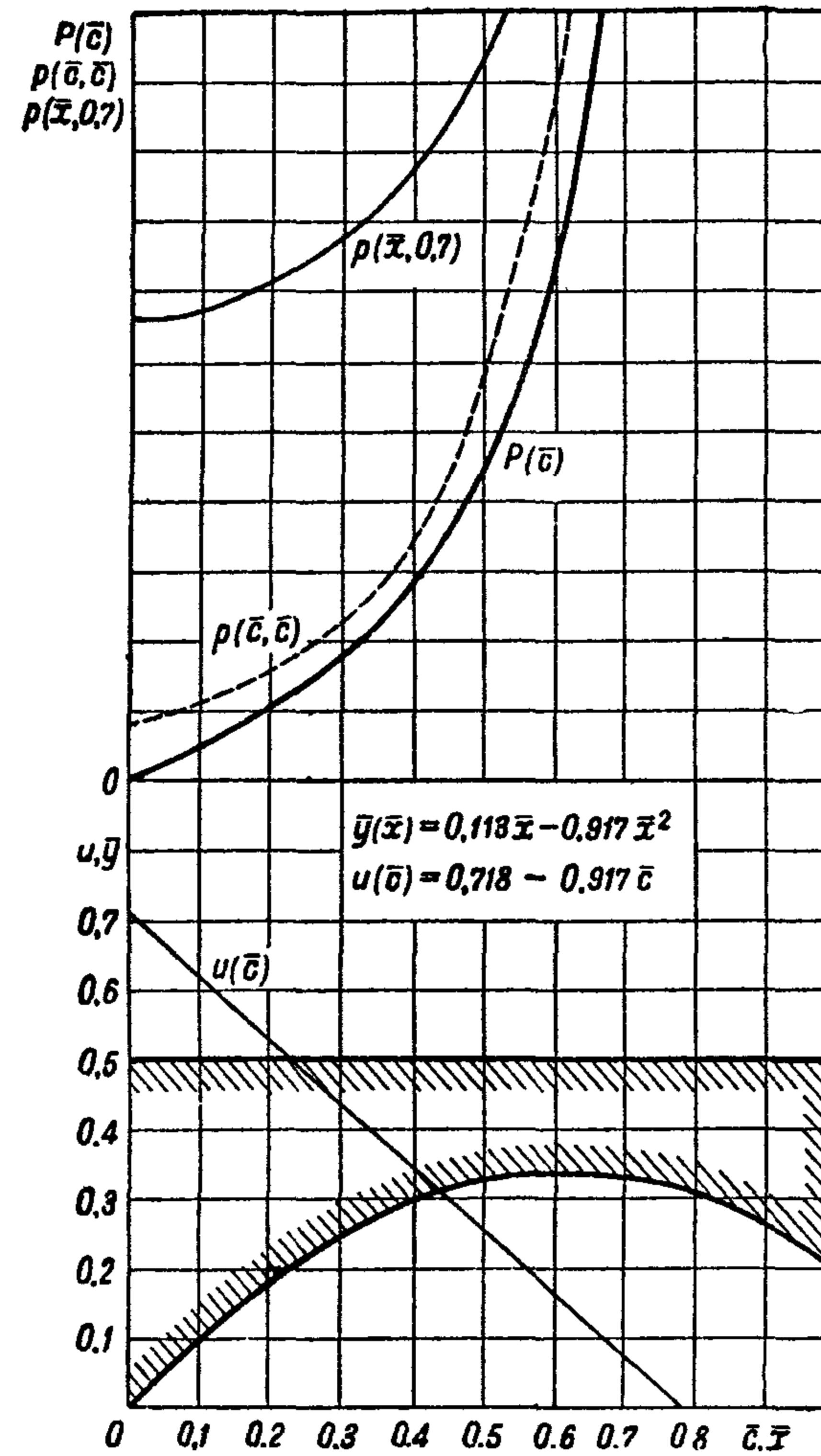
Фиг. 26. Профиль D



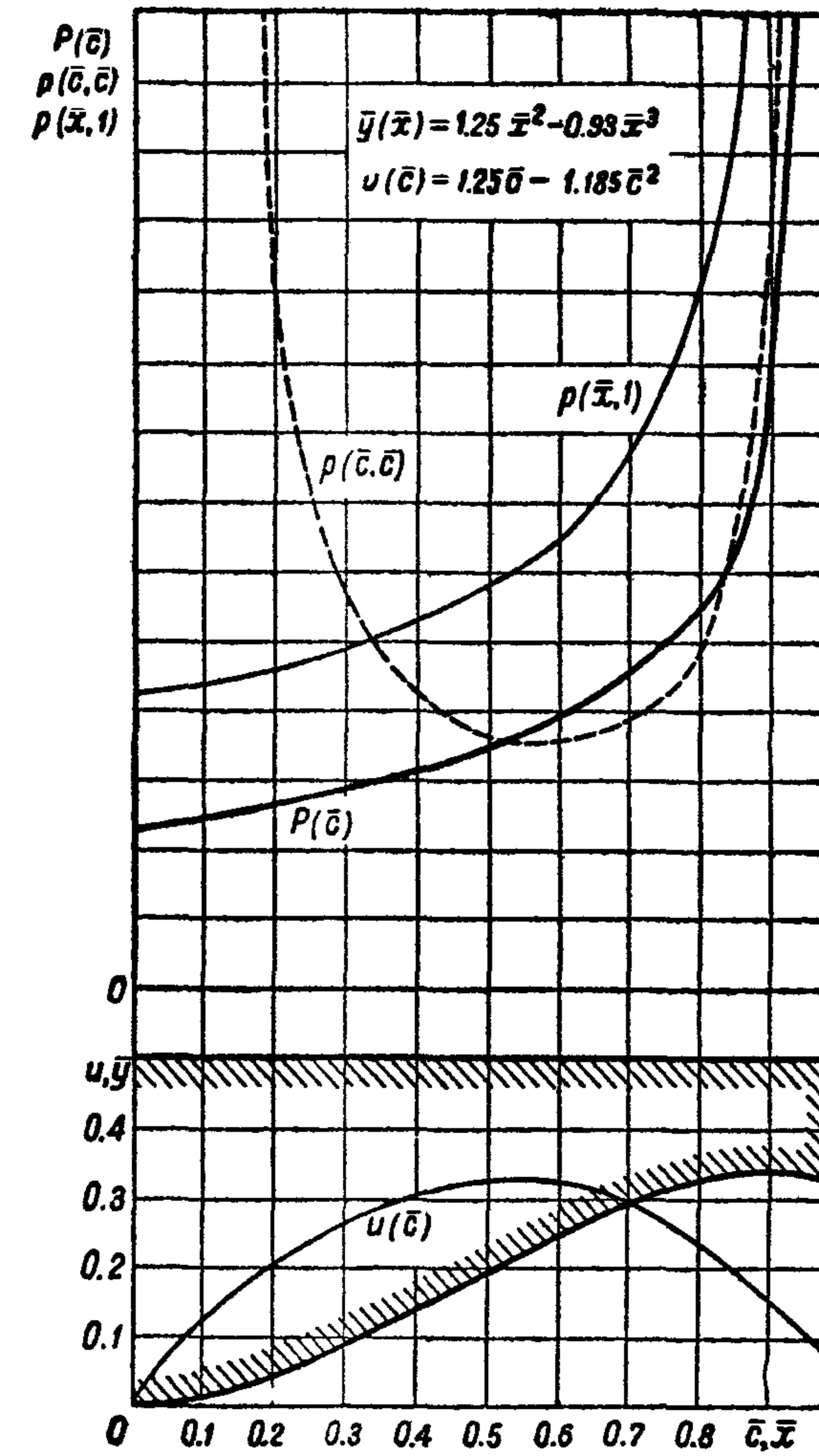
Фиг. 27. Профиль E



Фиг. 28. Профиль F



Фиг. 29. Профиль G



Фиг. 30. Профиль H

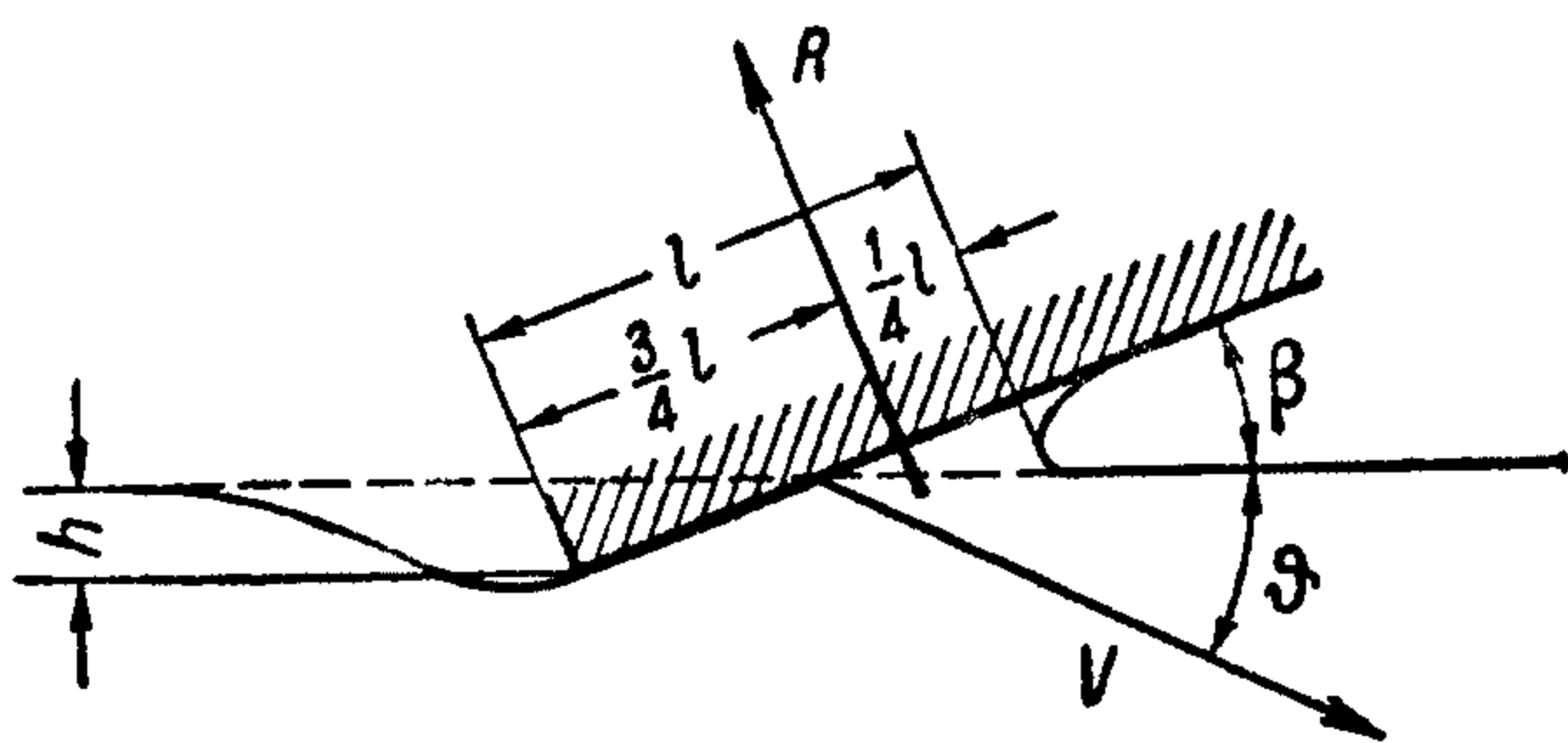
В точке, где $u=0$ и сила удара, и давление обращаются в бесконечность. В действительности, вследствие упругости днища и влияния дифферента при посадке, давление имеет конечную величину; следует, однако, иметь в виду, что наибольшего давления нужно ожидать именно в этом месте ($u=0$)

Профиль A представляет собою чистый клин с углом $23^{\circ}30'$. Профили C , D и E представляют собой почти такой же клин с небольшими скуловыми накладками. Сравнивая их друг с другом, можно проследить влияние скуловых накладок.

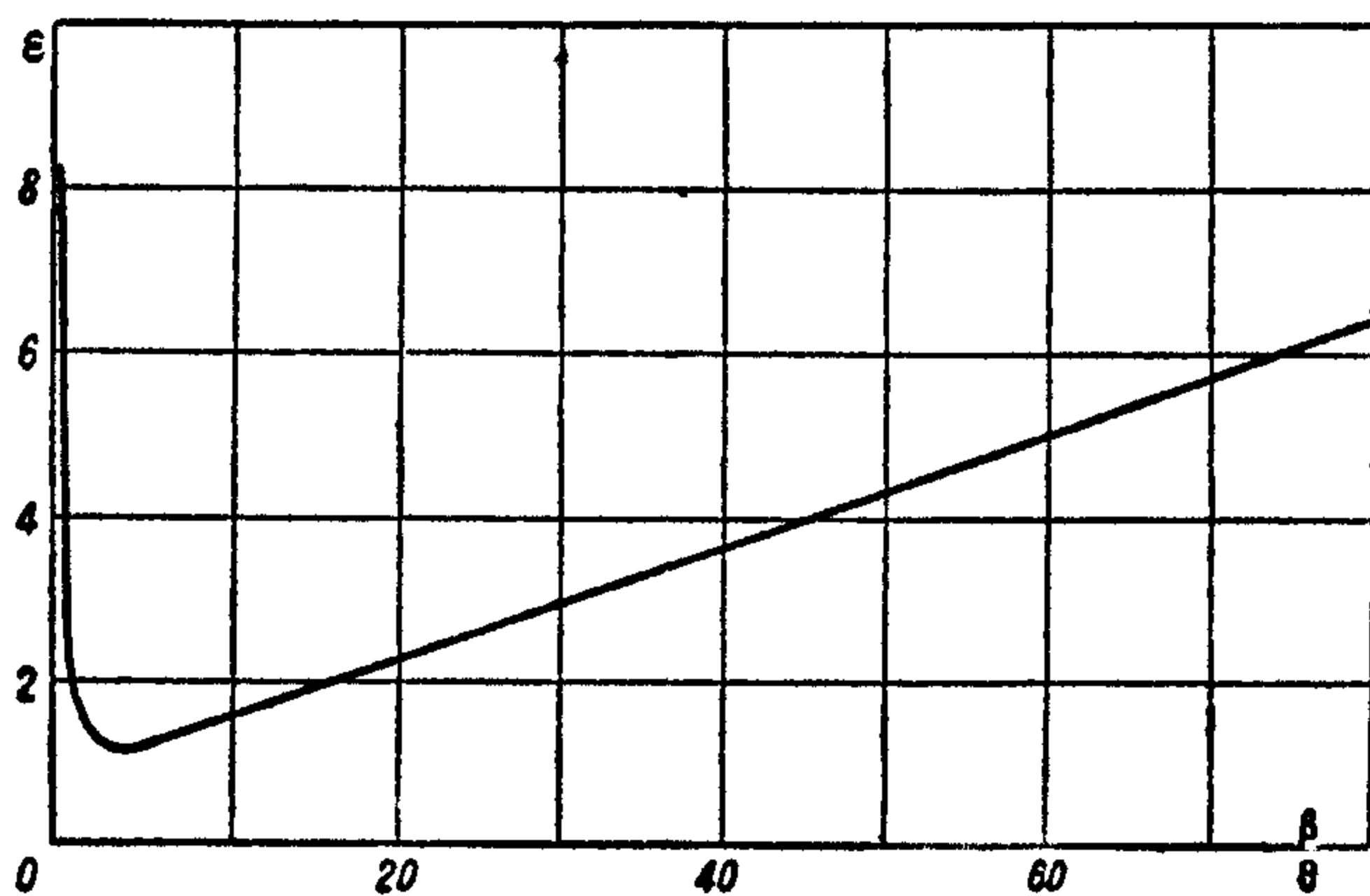
Профиль H отличается от других тем, что он имеет значительный радиус закругления на киле. Влияние этого радиуса сказывается на силе удара $P(\bar{c})$ в том, что даже при очень малой ширине удара (при $c \rightarrow 0$) значение P все же конечно, т. е. толчок при погружении такого днища должен быть очень резким. Давление имеет максимум для таких днищ не только в тоннеле, но и на киле.

Удар при наличии и вертикальной и горизонтальной скорости¹⁴

На фиг. 31 изображена схема задачи: редан погружается в воду с постоянной скоростью V , составляющей с горизонтом угол ϑ ; угол наклона редана по отношению к горизонту равен β .



Фиг. 31



Фиг. 32

Величины V , β и ϑ — все время остаются постоянными. Углы β и ϑ — принимаются малыми. Условия задачи соответствуют посадке гидросамолета с бесконечно большой массой и бесконечно широким днищем.

Равнодействующая сила удара в данном случае приложена на расстоянии $\frac{1}{4}$ длины смоченной поверхности от передней ее кромки; эта сила (на единицу ширины) равна:

$$R = \rho \pi V^2 h \epsilon,$$

где h — погружение задней кромки;

ϵ — является функцией отношения $\frac{\beta}{\vartheta}$ (график ее представлен на фиг. 32); величина ϵ имеет минимум, что указывает на существование наиболее выгодного отношения $\frac{\beta}{\vartheta}$ при посадке.

Сила, подсчитанная по этой формуле, будет больше действительной, так как, во-первых, к тому моменту, когда гидросамолет погрузится на глубину h , скорость V в действительности уменьшится, во-вторых, редан имеет конечные размеры, и, следовательно, облегчается растекание жидкости и уменьшается реакция воды⁵.

Удар упругого тела о воду

Решения задач по удару упругих систем о воду приводят обычно к исследованию возможно более простых схем, позволяющих оценить, в основном, качественный характер влияния упругости.

Влияние упругости днища на силу удара²⁰

Под влиянием давлений, возникающих на днище лодки или поплавок при посадке, днище деформируется и, в результате, в воду погружается днище несколько измененной формы. В зависимости от характера упругих свойств днища сила удара может как уменьшаться, так и увеличиваться по сравнению с силой удара при погружении жесткого днища.

В момент погружения скулы.

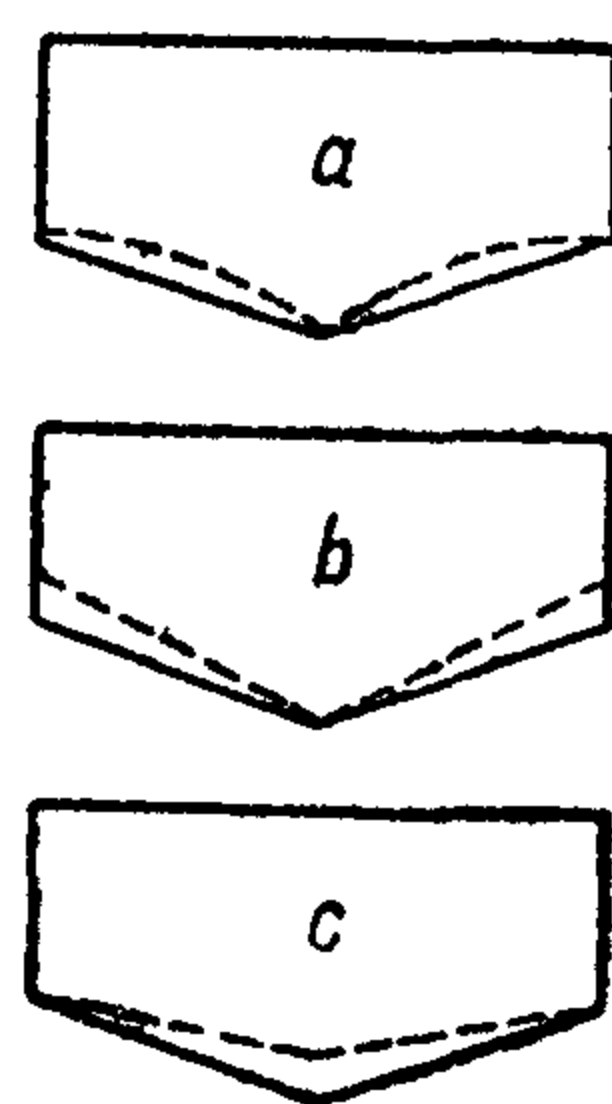
1) если киль и скула жесткие, а днище может изгибаться между ними (фиг. 33 *a*), сила удара возрастает, и относительное увеличение ее тем больше, чем больше отношение максимального прогиба к подъему скулы (подъем скулы — расстояние по вертикали от НСГ до скулы);

2) если киль жесткий, а скула может упруго деформироваться (фиг. 33 *b*), сила удара уменьшается, и относительное уменьшение тем больше, чем больше отношение максимального прогиба скулы к подъему ее;

3) если скула жесткая, а киль может упруго деформироваться (фиг. 33 *c*), то сила удара возрастает тем больше, чем больше отношение максимального прогиба к подъему скулы.

Те же выводы можно отнести и к другим моментам погружения с той лишь разницей, что отношение прогиба к подъему будет взято для точки на границе смоченной поверхности.

В действительности днище (обшивка и набор) обычно бывает настолько жестким, что практически влияние деформации днища ничтожно.



Фиг. 33

Влияние упругости конструкции на силу удара^{4 5 12}

Влияние упругости самой конструкции, связывающей часть корпуса, непосредственно воспринимающую удар, с основными массами гидросамолета, в некоторых случаях может быть учтено. Для определения этого влияния гидросамолет заменяют системой небольшого числа масс, связанных друг с другом упругими связями.

Условия, которым надо удовлетворять при выполнении приведения массы гидросамолета к системе масс, следующие:

- 1) общая масса системы равна массе гидросамолета;
- 2) центр инерции системы масс совпадает с центром тяжести гидросамолета;
- 3) если предполагается рассматривать эксцентричный удар, то момент инерции системы масс должен равняться моменту инерции гидросамолета;
- 4) жесткости и расположение упругих связей должны быть выбраны таким образом, чтобы собственные частоты и тип свободных колебаний совпадали бы с колебаниями соответствующих точек гидросамолета.

Обычно точно удовлетворить всем условиям невозможно и в зависимости от конкретного случая тем или иным условием приходится поступаться.

Если подобное приведение выполнено, то, считая, что к массе, заменяющей лодку или поплавок, приложена сила, вычисленная, например, по теории жесткого удара, можно свести задачу к обычному случаю колебаний системы со многими степенями свободы.

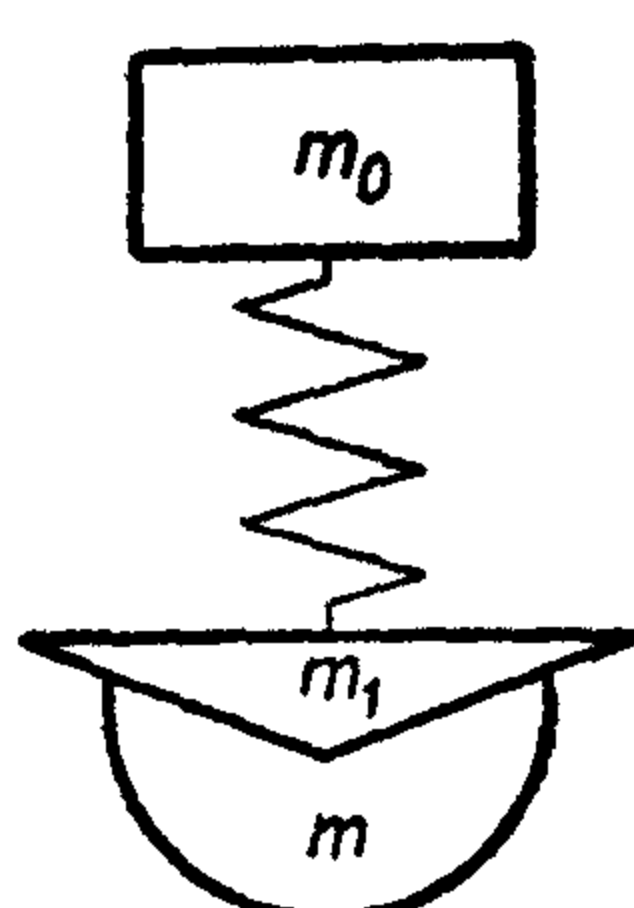
Приведение к двум массам. Сначала для простоты предполагают, что присоединенная масса m постоянна, т. е., что килеватость мала и удар происходит почти мгновенно. Тогда, чтобы избежать в начальный момент бесконечно больших сил, приложенных к поплавку, считают, что масса поплавков $m_1 = 0$.

В этом случае ($m_1 = 0$; $m = \text{const}$) сила удара определяется по формуле:

$$P = V_0 \sqrt{\frac{mk}{1+\mu}} \sin t \sqrt{k \frac{1+\mu}{m}}$$

($\mu = \frac{m}{m_0}$, m_0 — масса фюзеляжа и крыльев (фиг. 34), $k = \frac{P}{f}$ — жесткость связи, f — деформация связи, t — время, V_0 — скорость в момент касания воды по нормали к поверхности воды),

а максимальное значение силы удара — по формуле:



Фиг. 34

$$P_{\text{макс}} = V_0 \sqrt{\frac{mk}{1+\mu}}$$

и время возрастания силы — по формуле:

$$t = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{k(1+\mu)}}$$

Приведение к трем массам. В этом случае можно считать гидросамолет состоящим из фюзеляжа с крыльями, поплавков и обшивки поплавков, причем все эти части упруго связаны друг с другом (фиг. 35). Удар считается центральным.

Если масса всего гидросамолета $m_0 = m_1 + m_2$,

масса фюзеляжа $m_1 = \delta_1 m_0$,

масса поплавка $m_2 = \delta_2 m_0$,

присоединенная масса $m = \delta m_0$,

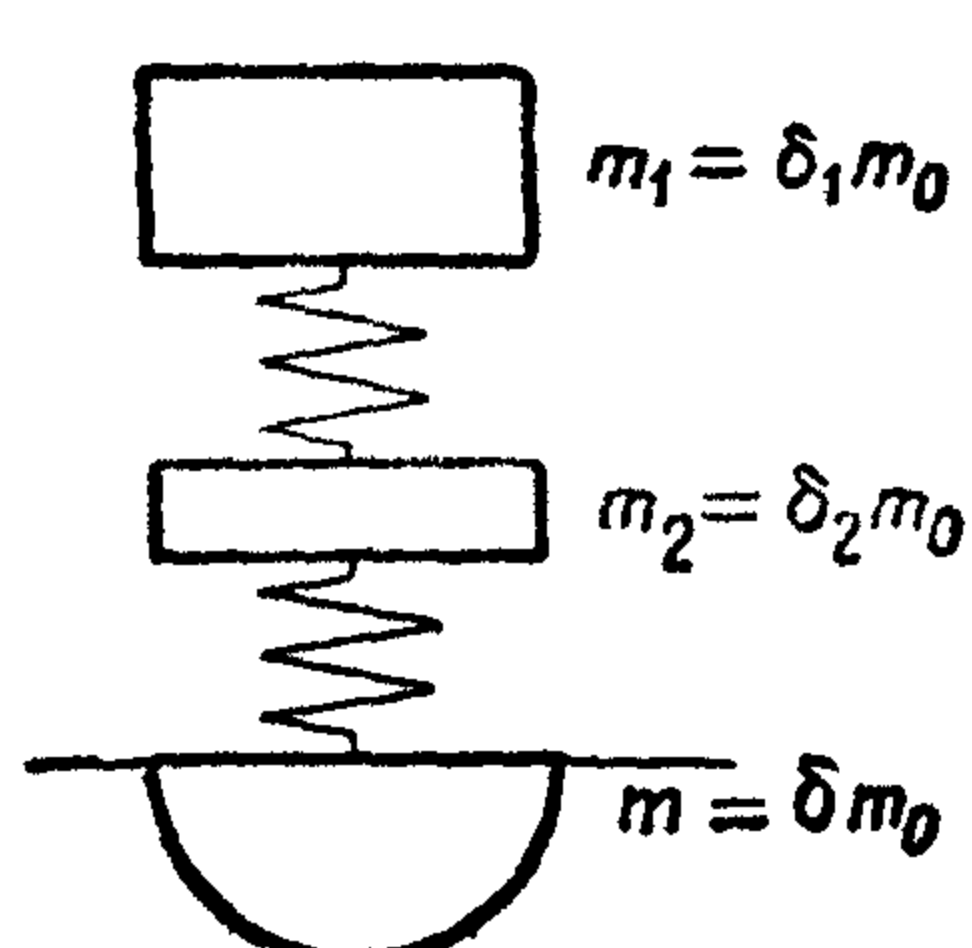
жесткость связи между m_1 и m_2 есть $k_1 = ck$,

„ „ между m_2 и m есть $k_2 = ek$,

„ „ между m_1 и m есть $k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$,

тогда усилие на фюзеляж может быть представлено в виде:

$$P_1 = V_0 \sqrt{km_0} (\varphi_1 \sin \lambda_1 t - \varphi_2 \sin \lambda_2 t),$$



Фиг. 35

где

$$\varphi_1 = \frac{ec}{2B \sqrt{A+B}}; \quad \varphi_2 = \frac{ec}{2B \sqrt{A-B}};$$

$$A = \frac{1}{2} \left[c \frac{\delta_1 + \delta_2}{\delta_1 \delta_2} + e \frac{\delta_2 + \delta}{\delta_2 \delta} \right];$$

$$B = \frac{1}{2} \sqrt{\left(c \frac{\delta_1 + \delta_2}{\delta_1 \delta_2} - e \frac{\delta_2 + \delta}{\delta_2 \delta} \right)^2 + 4 \frac{ec}{\delta_2^2}}.$$

Усилие на поплавок будет:

$$P_2 = V_0 \sqrt{km_0} (-\phi_1 \sin \lambda_1 t + \phi_2 \sin \lambda_2 t),$$

где

$$\psi_1 = \frac{e}{2B} \frac{A+B-C}{\sqrt{A-B}}; \quad \psi_2 = \frac{e}{2B} \frac{A-B-C}{\sqrt{A-B}};$$

$$C = c \frac{\delta_1 + \delta_2}{\delta_1 \delta_2};$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{k}{m_0} (A+B)}; \quad \lambda_2 = \sqrt{\frac{k}{m_0} (A-B)}.$$

В случае эксцентричного удара в первом приближении можно ограничиться заменой m_0 на m_r (стр. 36).

Для определения m можно воспользоваться формулой для пластинки с учетом конечности размаха (стр. 31).

В приведенных случаях присоединенная масса предполагалась постоянной; при таком допущении сила удара получается несколько больше по сравнению с действительной.

Если считать присоединенную массу возрастающей от 0 до m , то сила удара при приведении к двум массам может быть определена неравенством:

$$P_{ма с} < V_0 \frac{\mu}{1+\mu} \sqrt{m_0 k},$$

т. е. сила удара уменьшилась не менее, чем в $\sqrt{\frac{1+\mu}{\mu}}$ раз. Обычно присоединенная масса всегда меньше половины массы гидросамолета, так что применение этой формулы дает несколько уменьшенную силу удара.

Данные о действительной посадке полноразмерного гидросамолета

Экспериментальные данные по распределению давлений на днище

На фиг. 36 приведено распределение средних из максимальных местных давлений по днищу летающей лодки¹⁹ для ряда нормальных посадок с полетным весом $G = 7000$ кг в штилевую погоду. Форма реданного сечения этой лодки прямолинейнокилеватая, с углом поперечной килеватости $19^\circ 30'$. Опыты показали, что с изменением веса гидросамолета среднее максимальное местное давление изменяется примерно пропорционально $G^{1,7}$.

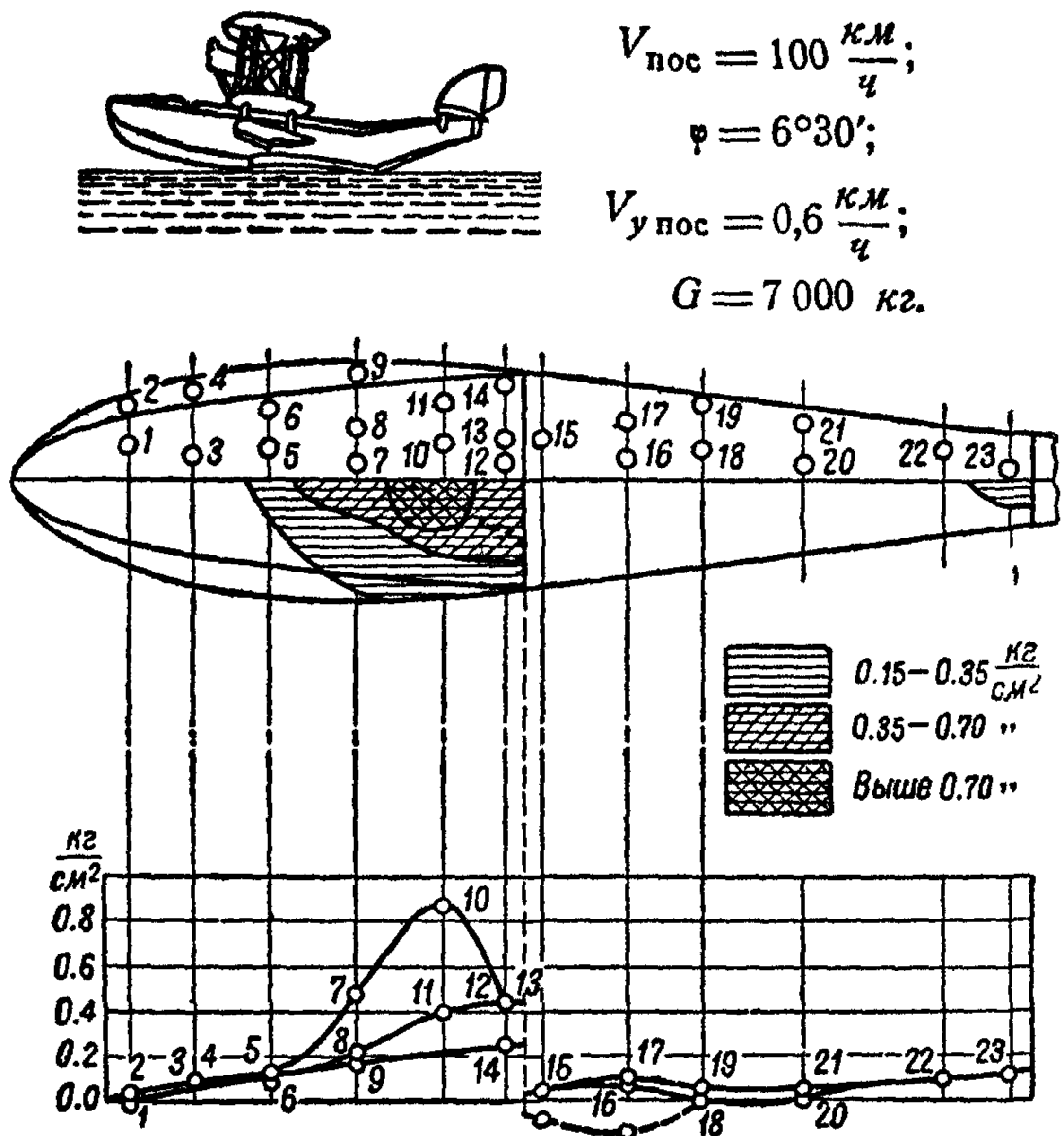
При взлетах и посадках в условиях взволнованной поверхности моря давления сильно возрастали и площадь, на которую они распространялись, увеличивалась (фиг. 37).

Очень высокие давления наблюдались также при необычных посадках в штилевую погоду. На фиг. 38 и 39 приведено распределение максимальных давлений при посадке с большим дифферентом на корму и при посадке с креном для той же лодки. В обоих случаях гидросамолет имел значительную вертикальную скорость.

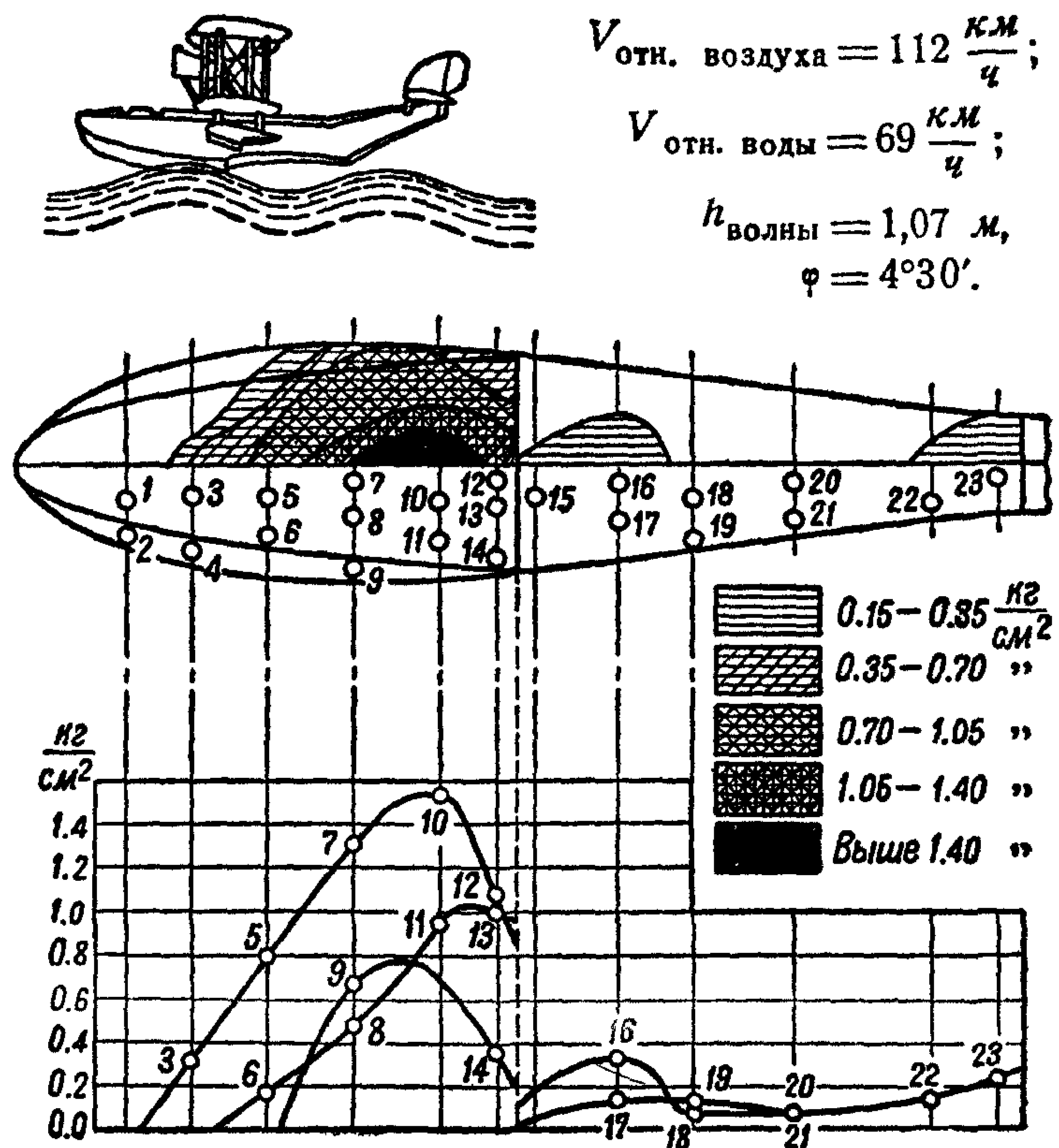
Максимальное давление порядка 2 кг/см² зарегистрировано при 30 посадках только два раза: один раз у киля впереди редана при посадке со сносом и потерей скорости (фиг. 39) и второй раз вблизи первого редана во время посадки с потерей скорости и очень большим углом дифферента на корму (фиг. 38).

Давление позади первого редана всегда оставалось незначительным, несколько увеличиваясь ко второму редану. При посадках на корму давление на заднем редане доходило до $0,5$ кг/см².

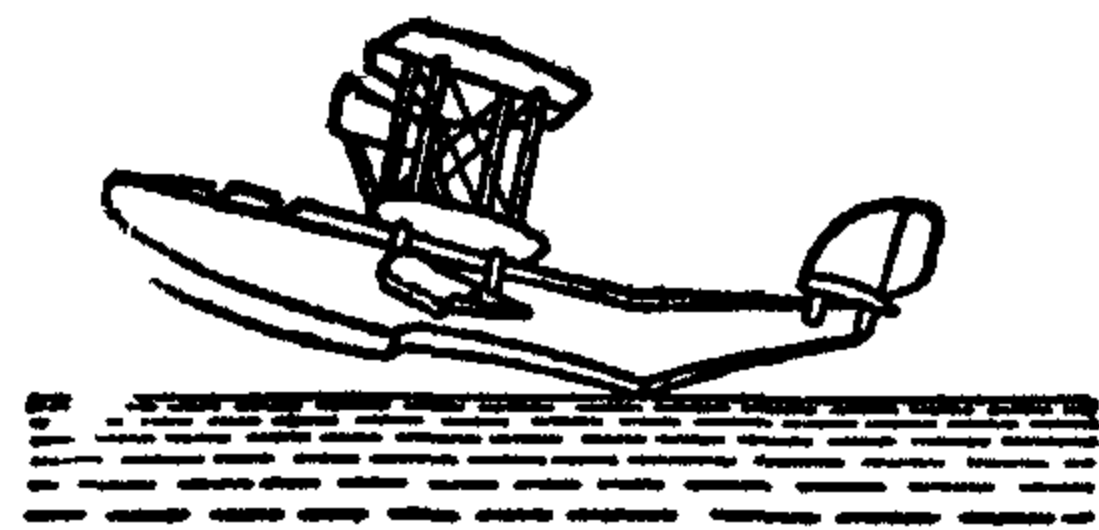
Можно считать установленным, что давление при нормальной посадке на спокойную водную поверхность больше, чем при взлете в тех же условиях. Область давления при посадке распространяется от переднего редана вперед примерно на ширину редана.



Фиг. 36. Распределение средних из максимальных местных давлений по днищу при нормальных посадках в штиль 19



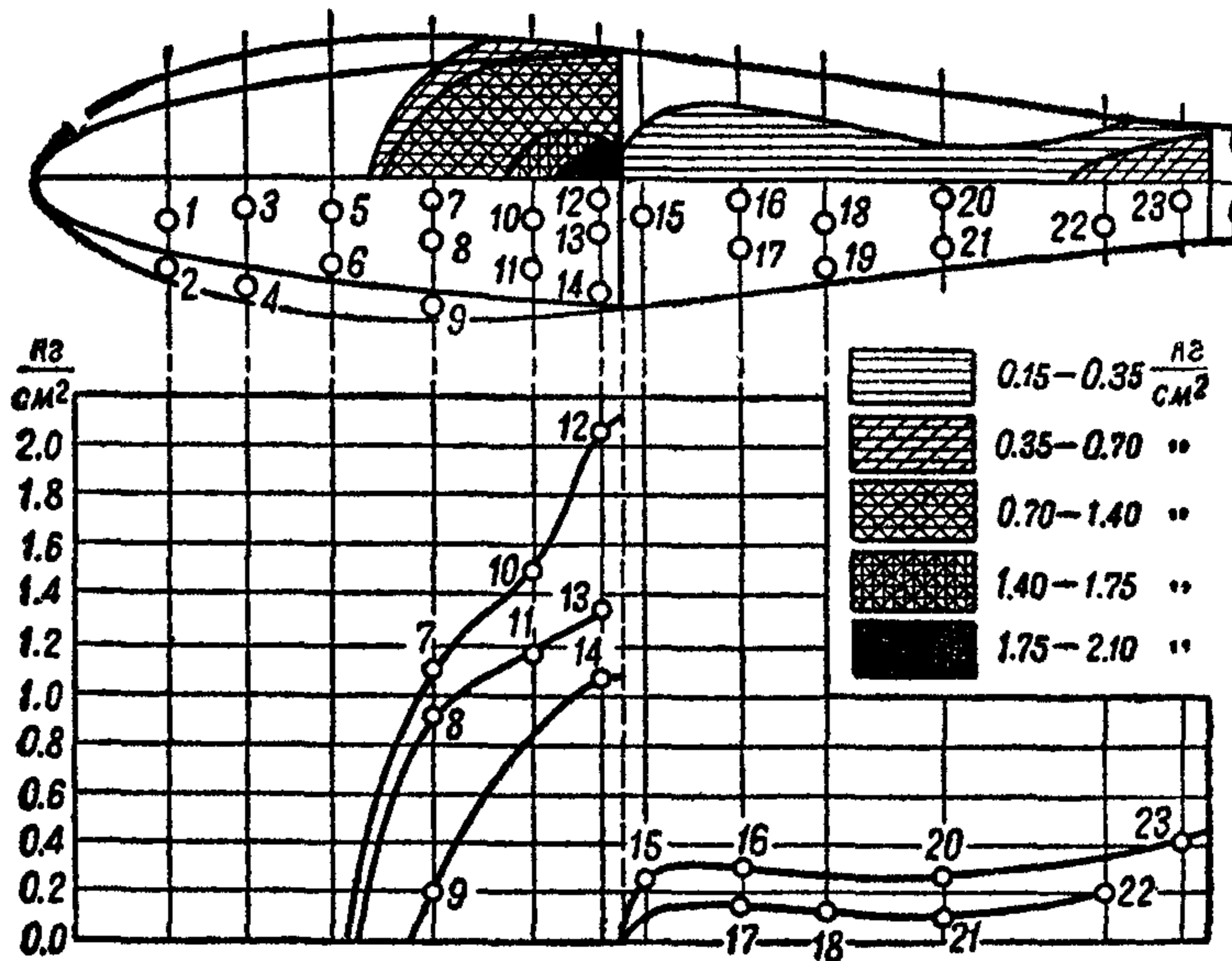
Фиг. 37. Распределение средних из максимальных местных давлений по днищу при взлете 19



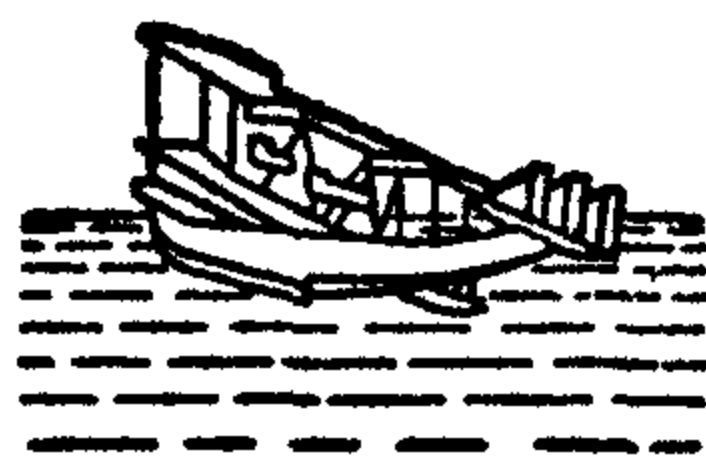
$$V_{\text{пос}} = 90 \frac{\text{км}}{\text{ч}};$$

$$V_{y \text{ пос}} = 0,9 \frac{\text{м}}{\text{с}} \text{ (момент касания);}$$

$$V_{y \text{ пос}} = 2,15 \frac{\text{м}}{\text{с}} \text{ (последующ. момент).}$$



Фиг. 38. Распределение средних из максимальных давлений по днищу при посадке на корму в мелкую рябь¹⁹



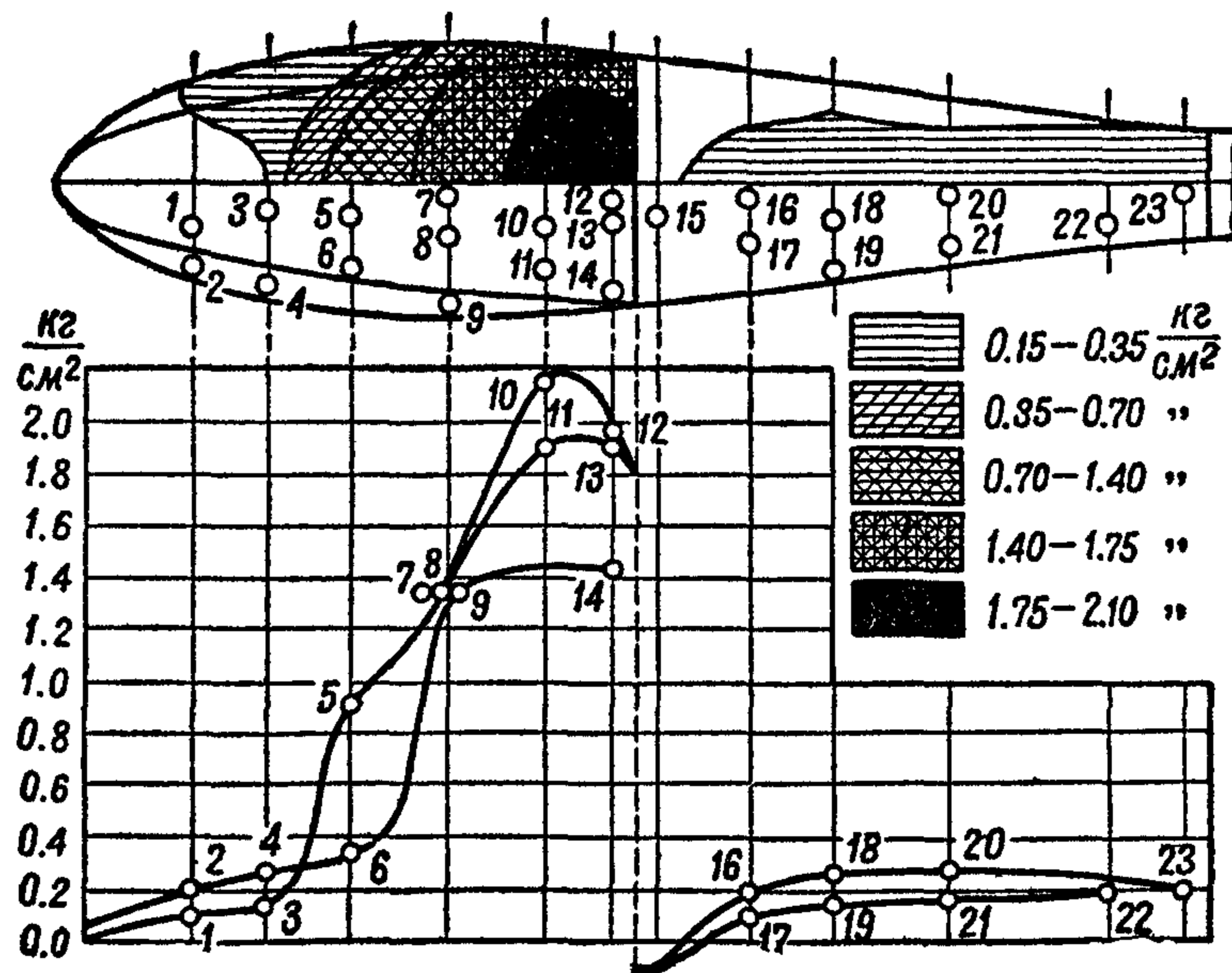
$$V_{\text{пос}} = 93 \frac{\text{км}}{\text{ч}};$$

$$\varphi = 4^{\circ}30';$$

$$\theta = 6^{\circ};$$

$$V_{\text{сноса}} = 3,65 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$V_{y \text{ пос}} = 2,9 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$



Фиг. 39. Распределение средних из максимальных давлений по днищу при посадке с креном и сносом в мелкую рябь

В таблице V для сравнений приведены максимальные давления, полученные при испытании 6-ти гидросамолетов:

Таблица V

	Поплавковый гидросамолет	Летающие лодки				
		7000	1100	1100	2030	4000
Полетный вес [кг]	3000	7000	1100	1100	2030	4000
Ширина редана [м]	0,865×2	2,20	1,05	1,05	1,35	—
Посадочная скорость [км/ч]	80—90	90—100	78	78	85	—
Внутренний угол поперечной килеватости у редана	9,5°	19°10'	0	14°	0	31°
Максимальное зарегистрированное давление [кг/см ²]	2,10	2,11	2,50	1,92	2,96	1,98

Исследование перегрузок

В таблице VI приводятся величины максимальных перегрузок в центре тяжести, зарегистрированных на различных гидросамолетах:

Таблица VI

Тип гидросамолета	Вес [кг]	Внутренний угол поперечной килеватости у редана	Перегрузка	Год испытания	Примечание
Поплавковый гидросамолет	1000	17°	4,3	1929	На редане выбито днище
"	3000	13°30'	4,95	1936	
"	3000	—	6,2	1929	
Летающая лодка	3000	9°5'	6,6	1929	Жестких посадок не было
"	4000	—	5,0	1934	
"	4000	31°	4,25	1935	
"	1000	—	3,0	1935	
"	6000	—	3,0	1936	
"	4500	21°	4,7	—	

Исследования распределения перегрузки по конструкции лодочного гидросамолета показали ²², что если перегрузку на редане принять равной 1, то в других точках гидросамолета она не превосходит значений, приведенных в таблице VII.

Таблица VII

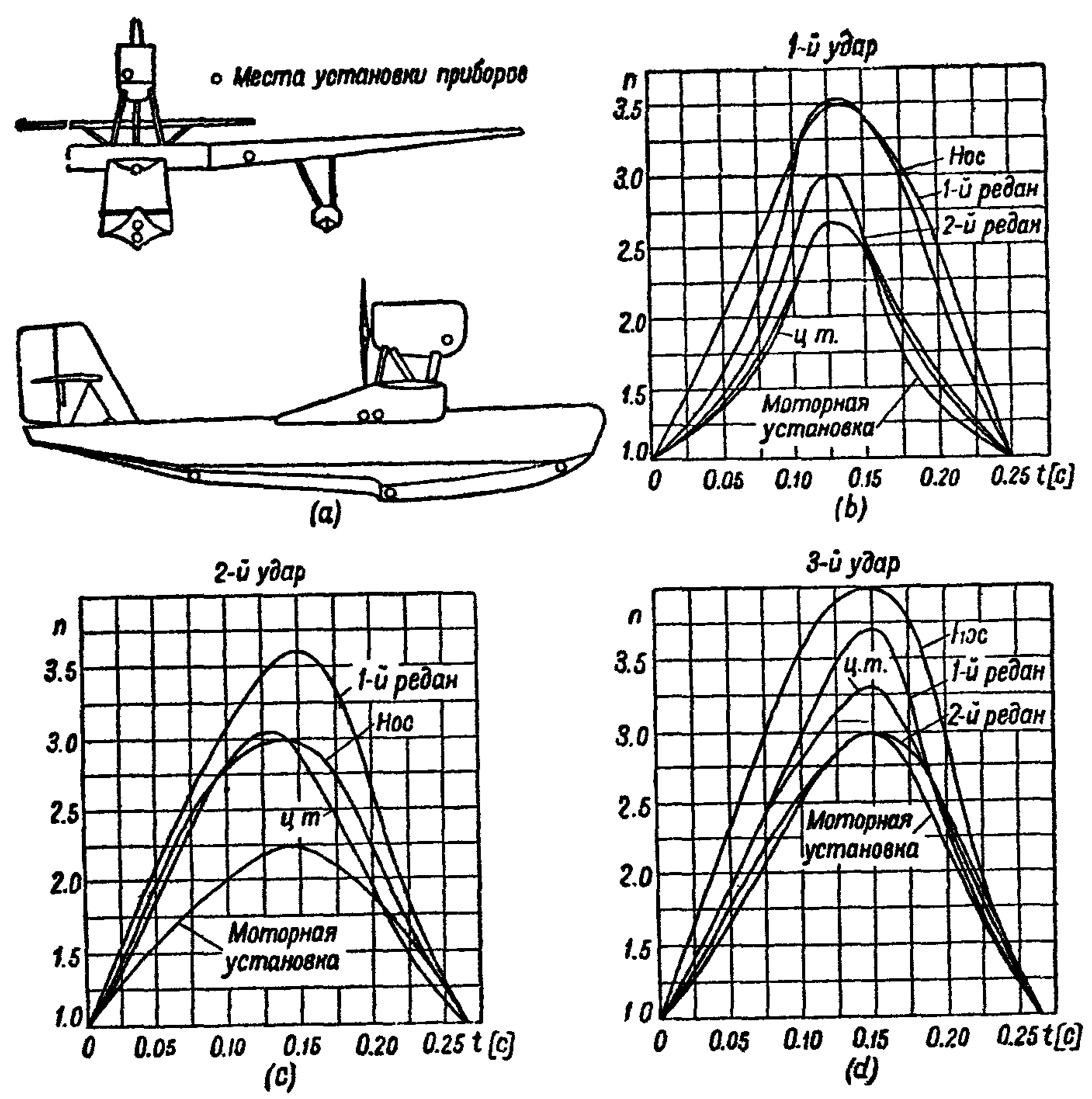
Место установки перегрузочного прибора	Относительная перегрузка
Редан	1,00
Нос	0,85
Центр тяжести	0,80
Моторная установка	0,65
Корма	0,65
Корень крыла	0,70
Конец крыла	0,60

Время нарастания перегрузки колеблется в пределах 0,065—0,25 с и общая продолжительность удара—в пределах 0,20—0,50 с.

На фиг. 40 приведена картина изменения перегрузок по времени и распределения их по конструкции при нормальной посадке летающей лодки.

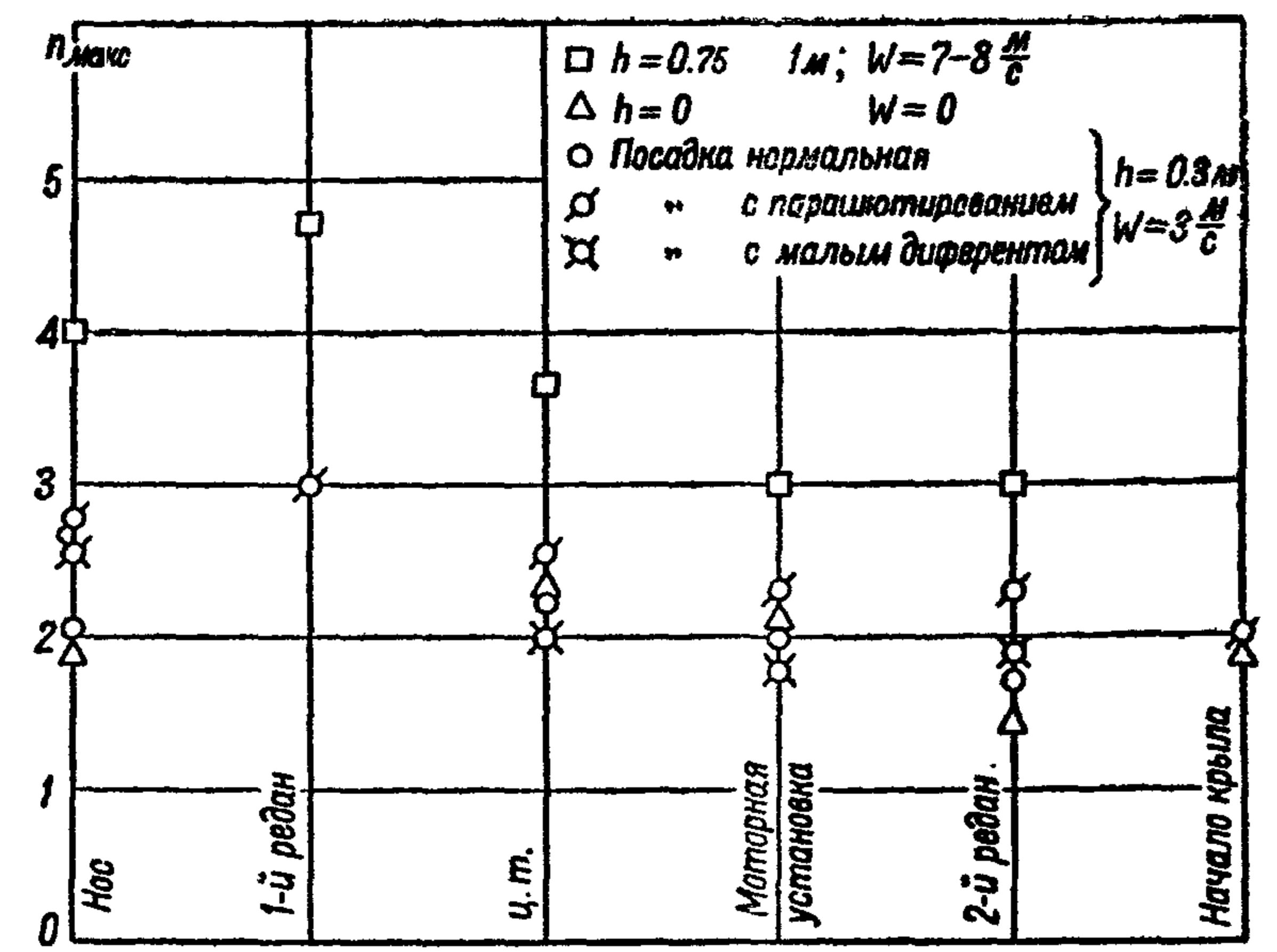
Изменение перегрузки в зависимости от техники пилотирования и состояния водной поверхности для летающей лодки и поплавоквого гидросамолета приведено на фиг. 41—42. Величина перегрузки растет вместе

с увеличением высоты волны. Большая величина перегрузки может возникнуть также при необычной посадке, со значительной вертикальной скоростью.

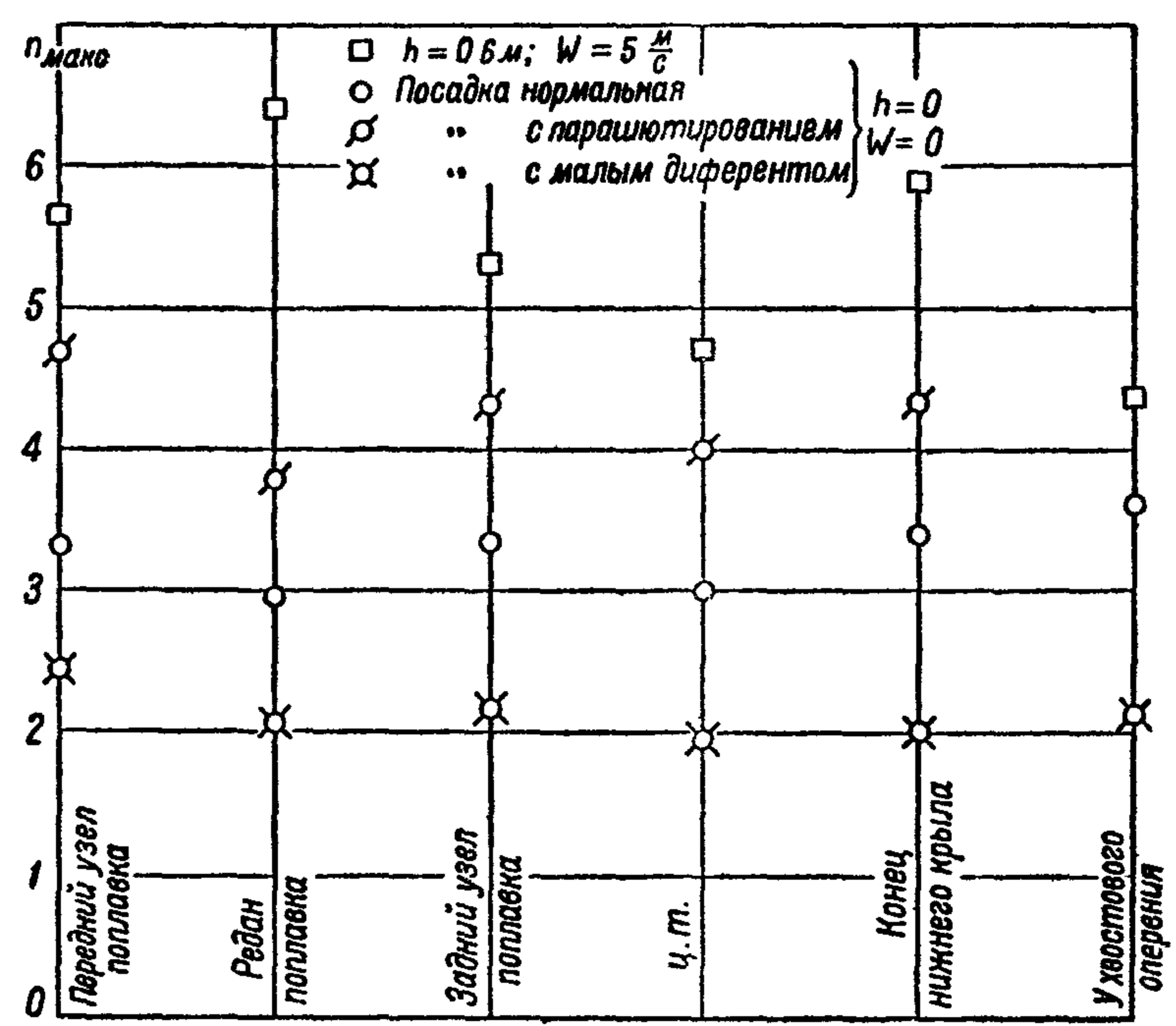


Скорость ветра $W = 6-8 \frac{м}{с}$;
 $V_{пос} = 95 \frac{м}{с}$;
 высота волны $h = 0,75 м$;
 угол диферента $\varphi = 10^\circ$.

Фиг. 40



Фиг. 41



Фиг. 42



Из результатов испытаний в натуру можно сделать следующие выводы о поведении гидросамолета и характере сил во время посадки:

продолжительность ударной нагрузки значительно меньше продолжительности интервалов между ударами;

средняя продолжительность ударной нагрузки 0,20—0,50 с, причем время нарастания составляет 30—50% времени действия;

сила удара приложена впереди переднего редана, на площади, порядка квадрата первого редана; распределение сил, уравнивающих нагрузку, зависит, главным образом, от упругих свойств конструкции;

при посадках тяжелых летающих лодок с большой консольной частью хвоста в корме возникают перегрузки вибрационного типа; та же картина наблюдается и при посадках поплавковых гидросамолетов;

наиболее тяжелый удар всегда близок к центральному; всякий сильно эксцентричный удар — меньший по величине, но создает вращение гидросамолета; это вращение оказывает незначительное влияние на величину и распределение перегрузок, но значительно изменяет величину дифферента и вертикальную скорость гидросамолета, что может сильно ухудшить условия для последующих ударов, особенно при посадке в волнение;

как правило, наиболее опасным является не первый удар, а один из последующих, если только сама посадка не была сделана чрезмерно жесткой; при прочих равных условиях посадки с парашютированием являются более опасными;

при нормальной технике управления наиболее опасными являются посадки на большую волну.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Жуковский Н. Е. — О движении твердого тела в беспредельной массе несжимаемой жидкости. — „Труды ЦАГИ“ 1929, № 40.
 2. Подсевалов Н. Н. — О давлении на днища лодок гидросамолетов. — „Техника возд. флота“ 1931, № 8—9, стр. 532—543, 13 илл.
 3. Подсевалов Н. Н. — О давлении на днища лодок и поплавков гидросамолетов. — „Техника возд. флота“ 1933, № 4, стр. 1—26, 27 илл.
 4. Pabst W. — Theorie des Landestosses von Seeflugzeugen. — DVL — Jahrbuch 1930, p. 69—78, 16 ill.
 5. Pabst W. — Ueber den Landestoss von Seeflugzeugen. — DVL — Jahrbuch 1931, p. 43—58, 27 ill.
 6. Wagner H. — Ueber die Landung von Seeflugzeugen. — „ZFM“ 1931, N. 1, p. 1—8, 18 ill.
- Примечание. Перевод работ 4, 5 и 6 помещен в „Сборнике по аэро- и гидродинамике“. Госмашметиздат. 1933.
7. Седов Л. И. — Об ударе твердого тела, плавающего на поверхности несжимаемой жидкости. — „Труды ЦАГИ“ 1934, № 187.
 8. Седов Л. И. — К теории неустановившихся движений крыла в жидкости. — „Труды ЦАГИ“ 1935, № 229.
 9. Сборник статей по вопросам удара о поверхность воды. — „Труды ЦАГИ“ 1935, № 152.
 10. Повицкий А. С. — Удар при посадке гидросамолета. — „Труды ЦАГИ“ 1935, № 199.
 11. Повицкий А. С. — Падение тела на поверхность жидкости. — „Техн. Заметки ЦАГИ“ 1935, № 62.
 12. Повицкий А. С. — Простейшая теория удара при посадке. — „Труды 1-й все-союзной конференции по гидродинамике 23—27. XII. 1933“, 1935, стр. 15—43, 25 илл.
 13. Подсевалов Н. Н. — Экспериментальное исследование посадочных давлений на днище гидросамолета. — „Труды 1-й всесоюзной конференции по гидродинамике 23—27. XII. 1933“ 1935, стр. 44—61, 15 илл.
 14. Седов Л. И. — Теория нестационарного глиссирования и движения крыла со сбегующими вихрями. — „Труды ЦАГИ“ 1936, № 252.
 15. Thompson F. L. — Water pressure distributions on a seaplane float. — NASA Rep. 1928, N. 290.
 16. Thompson F. L. — Water pressure distribution on a twin float seaplane. — NASA Rep. 1929, N. 328.
 17. Thompson F. L. — Water pressure distribution on a flying-boat hull. — NASA Rep. 1930, N. 346.
 18. Wagner H. — Ueber Stoss- und Gleitvorgänge an den Oberflächen von Flüssigkeiten. — „ZAMM“ 1932, v. XII, N. 4, p. 192—215, 33 ill.

19. Jones E. T. and Davies W. H. — Measurements of water pressure on the hull of a boat seaplane. — „ARC R. and M.“ 1934, N. 1638.
20. Weinig F. — Berücksichtigung der Elastizität beim Aufschlag eines gekielten Flugzeugschwimmers auf das Wasser. — „Luftfahrtforschung“ 1936, v. XIII, № 5, p. 155 — 159, 3 ill.
21. Mewes E. — Ueber den Einfluss der Bodenbreite eines Schwimmers oder Flugbootes auf den Landestoss. — „Luftfahrtforschung“ 1936, v. XIII, N. 5, p. 148—154, 8 ill.
22. Абрамов И. П. и Повицкий А. С. — Перегрузки при посадках гидросамолетов. — „Техн. Заметки ЦАГИ“ 1936, № 132.

ЭКСПЕРИМЕНТ В ОПЫТОВЫХ БАСЕЙНАХ МАСШТАБНЫЙ ЭФФЕКТ

Современное изучение поведения гидросамолета в период плавания, взлета и посадки базируется, главным образом, на эксперименте и в первую очередь на эксперименте с моделями гидросамолетов в специальных опытовых бассейнах.

При экспериментировании с моделями гидросамолета существенным является удовлетворение законов подобия Фруда и Рейнольдса, т. е. учет влияния сил инерции, тяжести и трения.

Практически, однако, сохранить одновременно оба закона подобия не удастся, так как, если опыты производятся в воде обычной температуры, то при уменьшении размеров модели для сохранения постоянства числа Фруда скорость движения надо уменьшить, а для сохранения постоянства числа Рейнольдса — увеличить. Сохранение же постоянства числа Фруда посредством уменьшения кинематического коэффициента вязкости ν повышением температуры или применением жидкости с малой вязкостью, например, ртути, вызывает очень большие затруднения.

Так как в гидромеханике гидросамолета приходится чаще всего изучать характер потоков, вызванных движением тел вблизи и по поверхности тяжелой жидкости — потоков, связанных с явлением волнообразования, то главными силами, определяющими явление, здесь будут силы инерции и силы тяжести; поэтому при экспериментировании в бассейнах с моделями гидросамолетов в основу кладут закон подобия Фруда, пренебрегая силами вязкости. Пренебрежение влиянием вязкости вносит некоторые ошибки, которые или оставляют, или учитывают особыми поправками (масштабный эффект — стр. 52). Ошибки будут тем больше, чем меньше размеры модели по отношению к размерам натуре, т. е. чем меньше масштаб модели. Выбор величины масштаба модели существенно лимитируется размерами бассейна и максимальной скоростью движения буксировочной тележки (стр. 55).

Правила моделирования и пересчета без учета влияния вязкости

При различного рода буксировочных испытаниях во всех опытовых бассейнах употребляются следующие формулы моделирования и пересчета: вытекающие из закона подобия Фруда (вязкость жидкости не учитывается)

- 1) нагрузки на воду при соответственных скоростях:

$$\frac{G'}{\Delta} = \left(\frac{L_n}{L}\right)^3 = \lambda^3$$

(G' — вес гидросамолета за вычетом аэродинамической подъемной силы; Δ — нагрузка на воду модели; L_n и L — характерные линейные размеры полноразмерного гидросамолета и модели);

- 2) силы сопротивления при соответственных скоростях:

$$\frac{W_n}{W} = \left(\frac{L_n}{L}\right)^3 = \lambda^3$$

W — силы сопротивления полноразмерного гидросамолета и модели)
 3) соответственные скорости:

$$\frac{V_n}{V} = \sqrt{\frac{L_n}{L}} = \sqrt{\lambda}$$

(V_n и V — соответственные скорости полноразмерного гидросамолета и модели);

4) углы хода полноразмерного гидросамолета и модели на соответственных скоростях:

$$\varphi_n = \varphi.$$

В практике расчетов иногда встречается необходимость пересчитать кривую сопротивления модели, полученную при одной нагрузке Δ_1 , на новую нагрузку Δ_2 . В этом случае пользуются соотношениями :

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{\Delta_1}{\Delta_2} = \frac{V_1^2}{V_2^2}.$$

Формула выведена из условия, что при изменении нагрузки смоченная длина, угол атаки и коэффициенты трения не изменяются. Точность пересчета по этой формуле получается в пределах обычных точностей, которые имеет гидродинамический расчет при нагрузке Δ_2 , меняющейся от 0,8 до 1,2 Δ_1 .

Масштабный эффект

Испытание масштабных серий моделей гидросамолетов показывает, что пересчет сопротивления по формуле

$$W_n = W \left(\frac{L_n}{L} \right)^3 = W\lambda^3,$$

основанной на законе Фруда приводит к некоторым ошибкам (масштабный эффект), вызванным изменениями в силах трения при переходе от чисел Рейнольдса модели к числам Рейнольдса полноразмерного гидросамолета (натуры).

Сопротивление полноразмерного гидросамолета, подсчитанное по этой формуле, получается преувеличенным. С этой ошибкой обычно мирятся, имея в виду возможные ошибки в получении сил при эксперименте с моделями, неточности при постройке модели и различную степень шероховатости модели и полноразмерного гидросамолета.

Из закона подобия Фруда следует также, что момент должен пересчитываться по закону λ^4 . В действительности значение гидродинамического момента, пересчитанного на больший размер по этому закону, получается преувеличенным. В силу этого при испытании масштабной серии свободно получающих диферент моделей гидросамолетов, углы диферента закономерно смещаются по скорости, следуя изменениям масштаба.

Пересчет сил гидродинамического сопротивления следует вести по формуле:

$$W_n = \eta W\lambda^3,$$

где при $\lambda > 1$ величина $\eta < 1$ является величиной масштабного эффекта. Из закона подобия следует, что сопротивление модели

$$W = \gamma B^3 \varphi(Fr, Re),$$

где γ — вес единицы объема воды, $Fr_B = \frac{V}{\sqrt{gB}}$ — число Фруда и $Re = \frac{VB}{\nu}$ —

число Рейнольдса. Вместо Re удобно ввести параметр $\xi = 5,55 \times 10^{-5} \left(\frac{Re}{Fr_B} \right)^{\frac{2}{3}} = 5,55 \times 10^{-5} \left(\frac{V \sqrt{g}}{\nu} \right)^{\frac{2}{3}} B$, который при коэффициенте вязкости $\nu = 1,3 \times 10^{-6} \frac{m^2}{c}$, соответствующем температуре $t = 15^\circ C$, обращается в ширину модели B , выраженную в м.

Таким образом:

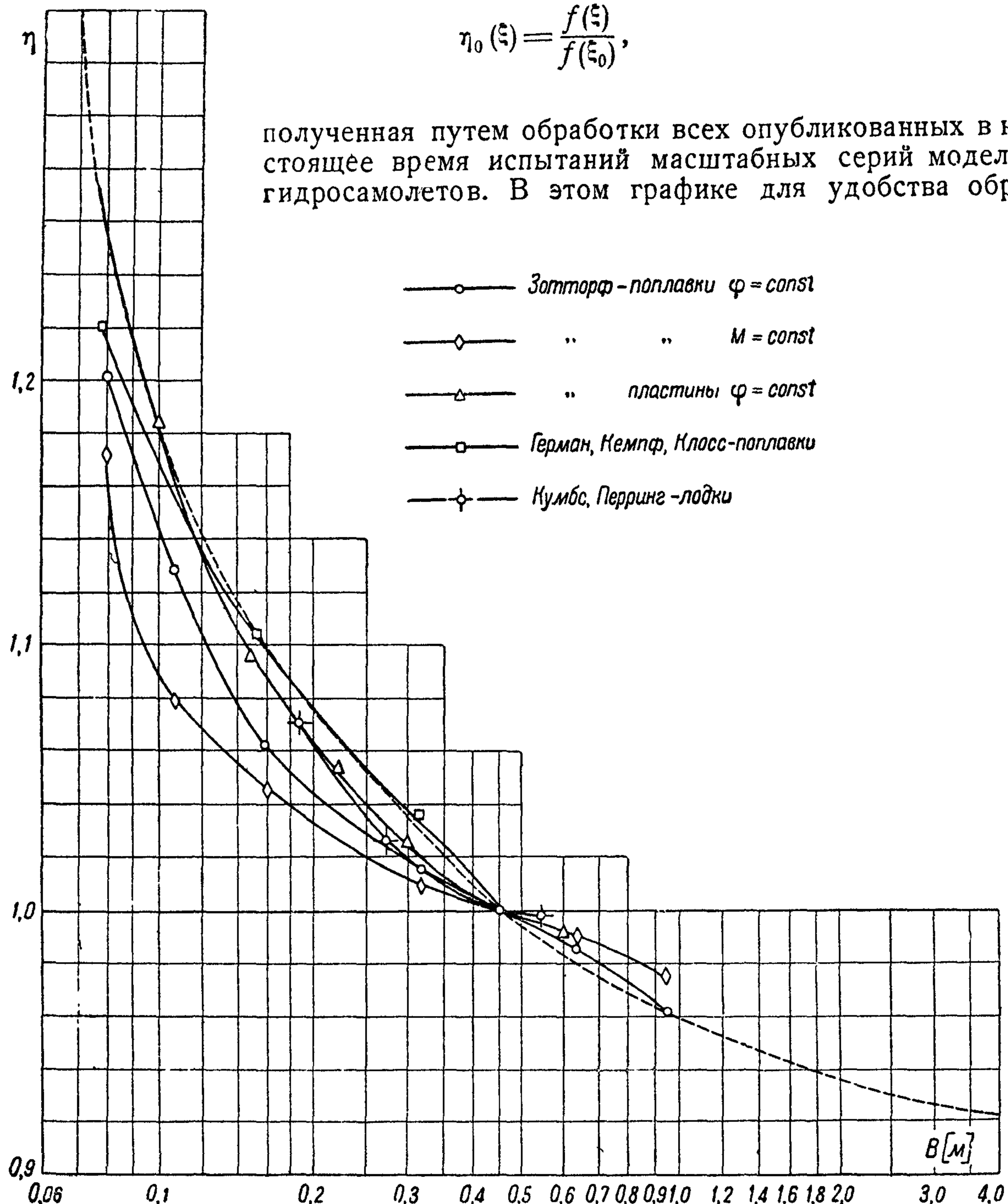
$$W = \gamma B^3 \phi(Fr, \xi)$$

Для данной масштабной серии число Фруда имеет заданное значение и следовательно:

$$W = \gamma B^3 f(\xi).$$

На график фиг. 43 нанесена величина масштабного эффекта:

$$\eta_0(\xi) = \frac{f(\xi)}{f(\xi_0)}$$



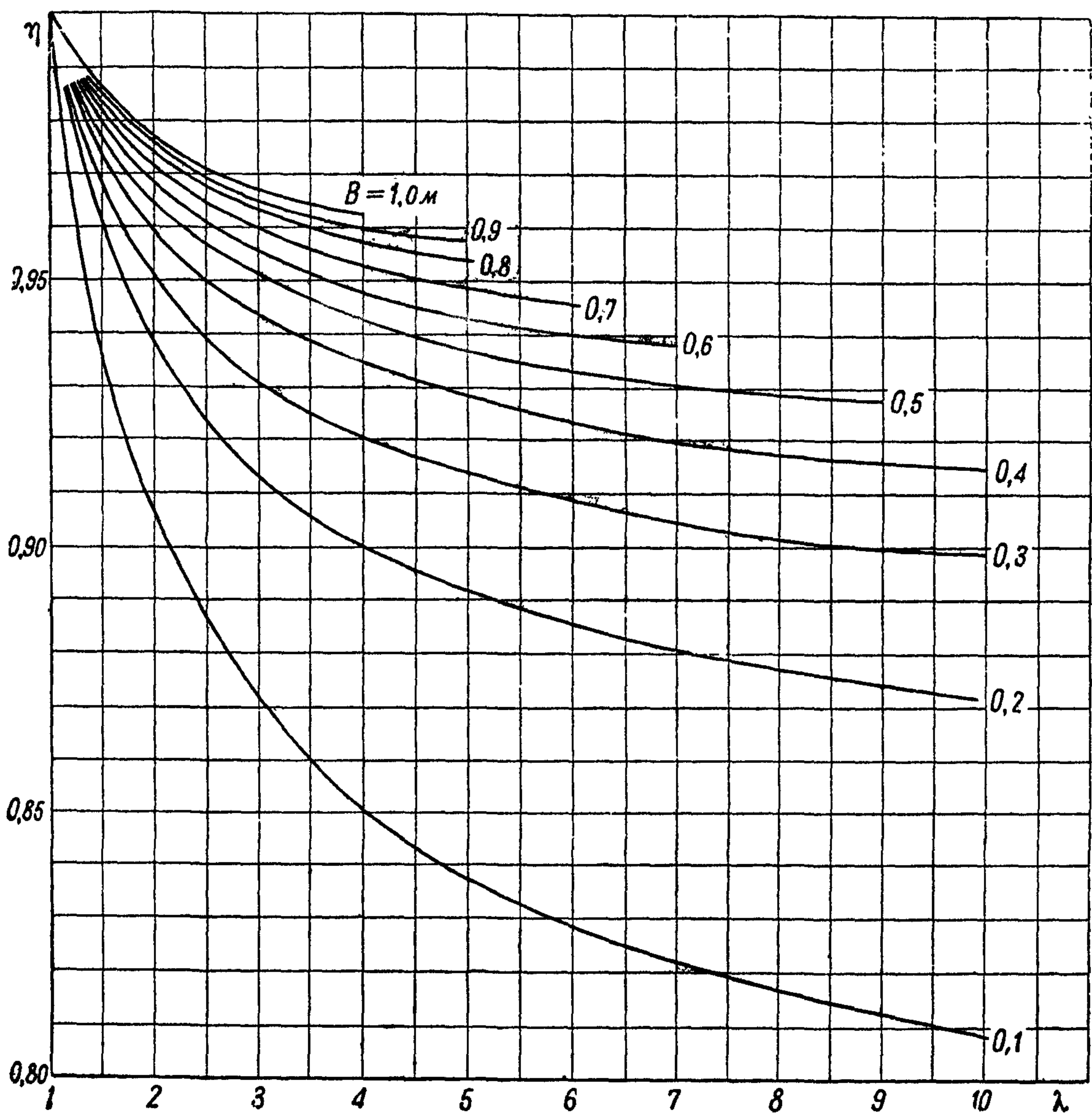
Фиг. 43

ботки и графического изображения все данные пересчитаны на модель, соответствующую значению параметра $\xi_0 = 0,45$.

Каждой масштабной серии этого графика отвечает своя кривая величин масштабного эффекта. Пунктиром на этом графике нанесена кривая, соответствующая максимальному значению масштабного эффекта для всех масштабных серий, здесь приведенных.

При переходе от модели, которой соответствует значение параметра ξ , к натуре, которой соответствует значение параметра ξ_n , для величины масштабного эффекта, равной отношению $f(\xi_n)$ к $f(\xi)$, получается выражение:

$$\eta(\xi) = \frac{\eta_0(\xi_n)}{\eta_0(\xi)}.$$



Фиг. 44

Значения $\eta_0(\xi)$ и $\eta_0(\xi_n)$ могут быть сняты непосредственно с фиг. 43. Удобнее, однако, воспользоваться фиг. 44, на которой изображена зависимость η от ξ и $\lambda = \frac{\xi_n}{\xi}$:

$$\eta(\lambda, \xi) = \frac{\eta_0(\lambda\xi)}{\eta_0(\xi)}.$$

На фиг. 43 и 44 в качестве переменной указана величина B в м вместо ξ , совпадающая с ξ при температуре $t = 15^\circ\text{C}$. Это можно сделать, так как



кривые фиг. 43 и 44 имеют лишь ориентировочное значение, и излишне поэтому учитывать изменение вязкости с температурой.

Кривые фиг. 44 дают величины максимально возможного масштабного эффекта в функции масштаба и абсолютных размеров (ширины модели). Следует помнить, что эти значения η получены из небольшого числа испытаний масштабных серий и относятся к режиму максимума сопротивления („горб“ кривой сопротивления) и что данные позволяют установить только порядок величины масштабного эффекта. При взятом масштабе масштабный эффект тем меньше, чем больше абсолютный размер модели, что очевидно и теоретически: чем больше модель, тем больше Re и тем меньше, следовательно, влияние сил вязкости, обуславливающих масштабный эффект.

Выбор масштаба модели

Выбор масштаба модели $\frac{L}{L_n} \equiv \frac{1}{\lambda}$ определяется скоростью отрыва проектируемого гидросамолета $V_{он}$ и максимальной скоростью буксировочной тележки V_{\max}

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{L}{L_n} = \frac{V_{\max}^2}{V_{он}^2}.$$

Если ориентироваться только на величину $V_{он}$, то масштаб модели, при относительно малой скорости V_{\max} , может оказаться малым, а при малых абсолютных размерах и неточном изготовлении модели неизбежны ошибки при экспериментировании и при пересчете результатов буксировки на натуру.

С другой стороны, большой масштаб модели может повести к тому, что диапазон предвзлетного разбега не получит достаточного освещения при модельных испытаниях.

С уменьшением масштаба и, следовательно, уменьшением абсолютных размеров модели возрастает влияние масштабного эффекта, заключающееся в несовпадении замеренных величин сопротивления, углов хода и всплывания с величинами, полученными при пересчете по закону Фруда, и в различном брызго- и волнообразовании модели и натуре (стр. 53). В целях уменьшения ошибок при пересчете и повышения точности замеров, новейшие опытовые бассейны, построенные для нужд гидроавиации, имеют большую длину, что позволяет получать высокие скорости буксирования.

Методика буксировочных испытаний

При испытании моделей лодок и поплавков необходимы следующие данные о проектируемом гидросамолете: *a)* полетный вес G , *b)* скорость отрыва $V_{он}$, *c)* моменты тяги и хвостового оперения, *d)* теоретические чертежи корпуса лодки и подкрыльных поплавков, *e)* контуры отдельных частей гидросамолета, выполняемых на модели схематически (винты, оперение, фонарь и друг.), которые необходимо предохранить от попадания брызг, *f)* положение центра тяжести гидросамолета.

Модель, сбалансированная относительно приведенного ц. т. гидросамолета и оснащенная для буксировки, как правило, в весовом отношении не удовлетворяет критерию подобия Фруда, вследствие чего при постановке под тележку она разгружается через специальные троса до требуемой нагрузки на воду Δ . Аналогичным образом воспроизводится разгружающее действие крыльев и эффект моментов диферента M_φ гидросамолета. Букси-

рование производится с помощью тг, связывающих модель с динамометром: сопротивления. Точка крепления тг на модели совпадает с точкой, соответствующей ц. т. самолета. Перед моделью помещается щит для уменьшения влияния обдувки модели встречным потоком. Буксировка модели производится при свободном диференте и всплывании при различных постоянных скоростях, соответствующих процессу разбега гидросамолета. Устанавливаются зависимости сопротивления W , угла диферента φ и всплывания z в функции скорости, при моменте $M_p = 0$ и заданной нагрузке на воду $\Delta = \Delta(V)$.

Чтобы учесть влияние моментов диферента гидросамолета для ряда характерных скоростей производится буксировка модели с приложением внешних моментов. Величина этих моментов подбирается так, чтобы углы хода, ими вызываемые, отличались от углов хода при свободном диференте на величину $\pm(3 - 5^\circ)$.

При этом получают следующие зависимости:

$$W = W(\varphi); \quad M = M(\varphi); \quad z = z(\varphi)$$

при

$$V = \text{const.} \quad \text{и} \quad \Delta = \text{const.}$$

(индекс φ у M обычно опускается).

Аналогичным целям служит буксировка при постоянных углах диферента. При этом получают:

$$W = W(V); \quad M = M(V); \quad z = z(V)$$

при

$$\varphi = \text{const.} \quad \text{и} \quad \Delta = \Delta(V).$$

Диапазон скоростей с обязательным использованием моментов диферента определяется величиной момента тяги винта и эффективностью хвостового оперения, и заключается в пределах от $V = 0,15 V_0$ до $V = 0,75 V_0$.

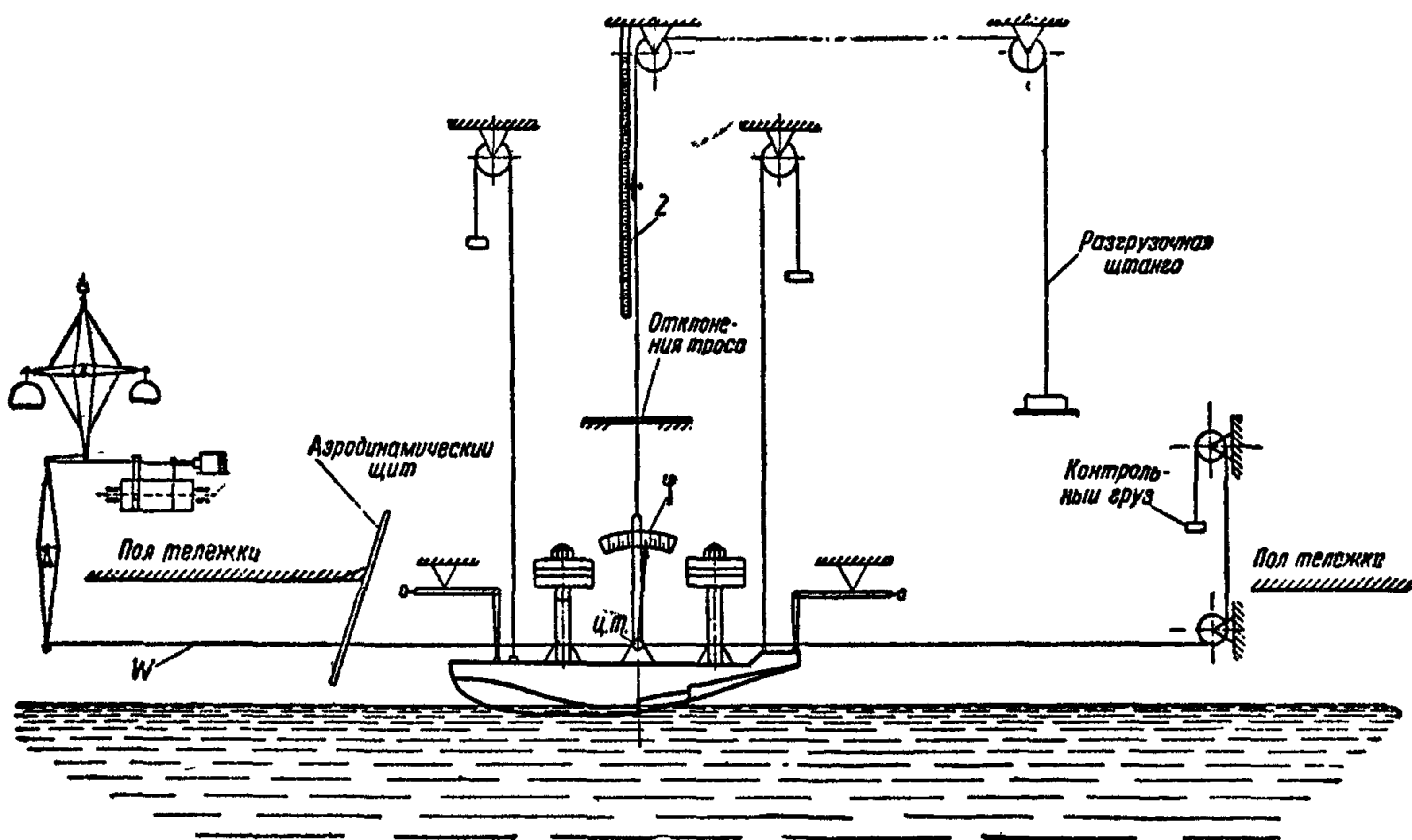
Для соблюдения одинаковых условий экспериментирования и большей возможности обобщения экспериментального материала в бассейне ЦАГИ приняты стандартными:

1) методика испытаний и схема установки модели под тележкой (фиг. 45);

2) ширина модели на первом редане и значения коэффициента нагрузки на воду $c_\Delta = \frac{\Delta_0}{\gamma B^3}$ (см. таблицу VIII) (γ — вес единицы объема воды, B — ширина модели у первого редана, Δ_0 — нагрузка на воду, соответствующая полетному весу гидросамолета);

Таблица VIII
Стандартные параметры модели

Модель	B [мм]	Диапазон c_Δ , с ин- тервалом $0,2c_\Delta$
Летающей лодки	300	0,7—1,5
Однопоплавкового гидросамолета	300	0,9—1,7
Двухпоплавкового гидросамолета	200	1,5—2,5

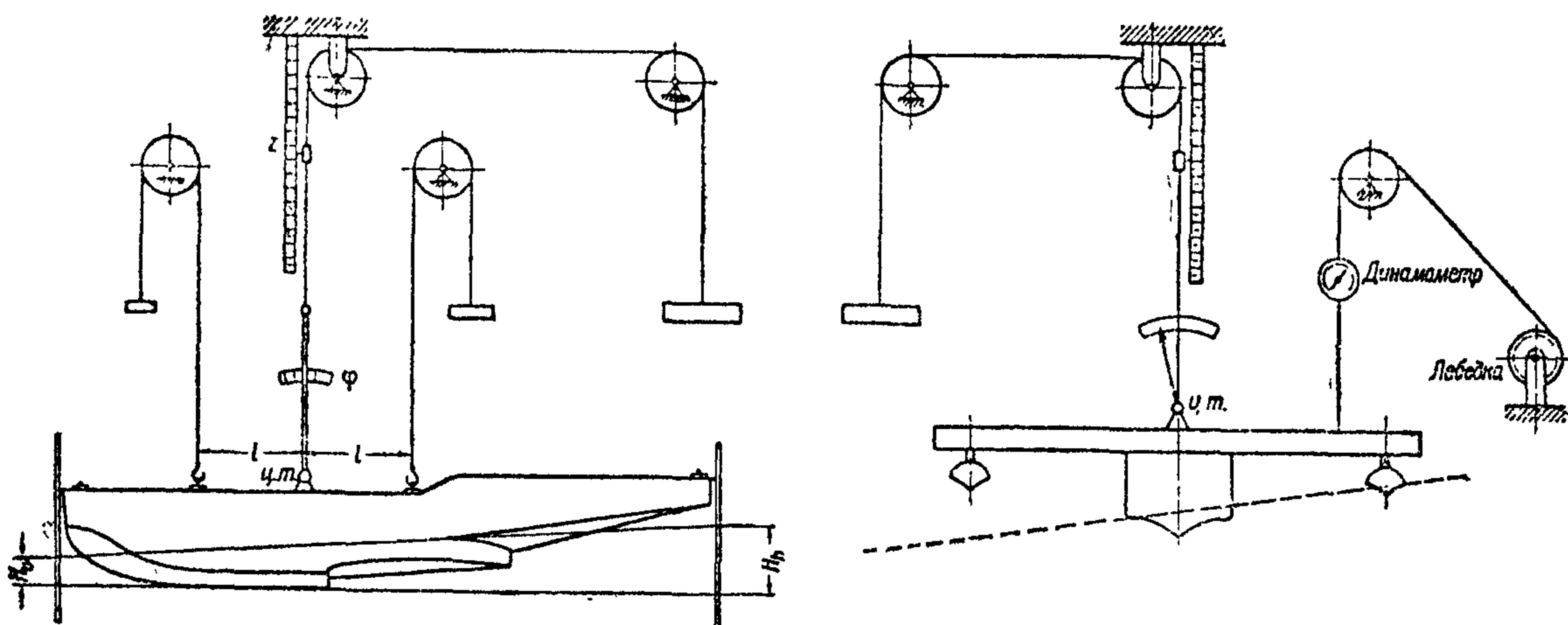


Фиг. 45

- 3) параболический закон изменения нагрузки на воду в функции скорости (стр. 75)
- 4) теоретический чертеж (стр. 123).

Методика гидростатических испытаний

Стандартные гидростатические испытания заключаются в экспериментальном определении грузового размера, продольной и поперечной диаграмм Рида для различных нагрузок на воду, поляры остойчивости, а также в ис-



Фиг. 46a

Фиг. 46b

следования влияния на гидростатические качества гидросамолета формы и разнеса поплавков. Испытания производятся в особом бассейне для статических опытов. Схемы испытаний даны на фиг. 46a и 46b.

При испытании по схеме фиг. 46b момент получается от натяжения троса, наматываемого на барабан; величина натяжения троса определяется с помощью динамометра. Преимущество этой схемы заключается в возможности определения восстанавливающего момента модели для любых углов наклона.



БИБЛИОГРАФИЯ

1. Hermann H., Kempf G. and Kloess H. — Schleppversuche an Zweischwimmerpaaren. — „Luftfahrtforschung“ 1928, v. I, N. 1, p. 18—34, 22 ill.
 2. Sottorf W. — Versuche mit Gleitflächen, II Teil. — „Werft-Reederei-Hafen“ 1932, N. 19, p. 286—290, 9 ill.
 3. Schmidt R. — Der Maßstabeinfluss beim Schleppversuch mit Flugzeug-Schwimmwerken. — „Luftfahrtforschung“ 1936, v. XIII, N. 7, p. 224—237, 23 ill.
 4. Coombes L. P. — Research in R. A. E. tank. — „RAS“ 1935, v. XXXIX, N. 297, p. 807—834, 23 ill.
 5. Jones E. T., Johnston L. and Hanson J. — Full scale and model resistance of a Southampton II hull. — ARC R. and M. 1936, N. 1724.
 6. Truscott S. — The NACA tank. A high speed towing basin for testing models of seaplane floats. — NACA Rep. 1933, N. 470.
-

**МАТЕРИАЛЫ К ВЫБОРУ СХЕМЫ
ГИДРОСАМОЛЕТА**



МАТЕРИАЛЫ ПО ГИДРОСТАТИКЕ ГИДРОСАМОЛЕТА

По сравнению с сухопутным самолетом для гидросамолета обычного типа характерно:

а) значительно большее полное сопротивление при разбеге (фиг. 66, стр. 75);

б) положение центра тяжести ниже оси пропеллера, вследствие чего тяга винта дает момент на пикирование и в некоторых случаях появляется опасность потери скорости при остановке моторов в полете; как следствие — линия тяги винта имеет обычно такой наклон относительно горизонтального оперения, чтобы в полете обдувка его создавала необходимый момент на кабрирование, исчезающий при выключении мотора одновременно с моментом тяги на пикирование;

в) высокое расположение винтов и хвостового оперения, во избежание заливания и забрызгивания их при взлете и посадке;

г) повышенное лобовое сопротивление, вследствие менее аэродинамичных форм корпуса (скулы, реданы) и большего миделя гидросамолета.

По сравнению с судном для гидросамолета характерно высокое расположение центра тяжести, вызывающее необходимость в специальных приспособлениях для обеспечения поперечной остойчивости при плавании, взлете и посадке.

При проектировании гидросамолета специфической особенностью является выбор схемы и формы плавательных приспособлений, а также требование соблюдать определенные расстояния от отдельных агрегатов до водной поверхности (от конца лопасти винта, конца крыла, нижней точки хвостового оперения).

Иллюстративные данные в этой области по некоторым гидросамолетам приведены на фиг. 47.

По типу органов плавания гидросамолеты разделяются (фиг. 48) на:

а) двухлодочные;

б) однолодочные (летающие лодки):

с жабрами,

с жабрами и поплавками,

с подкрыльными поплавками:

несущими,

поддерживающими;

в) однопоплавковые с подкрыльными поплавками;

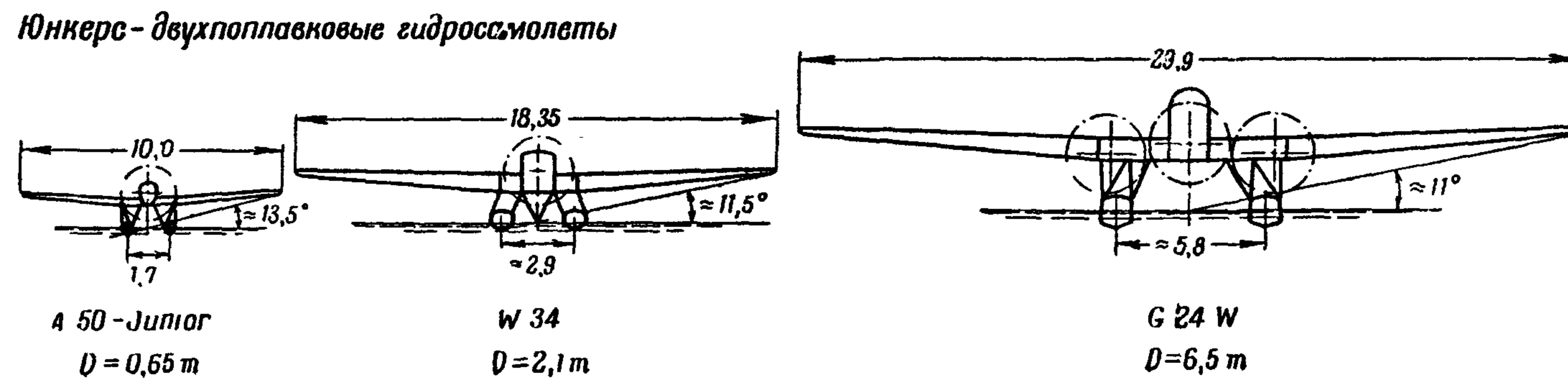
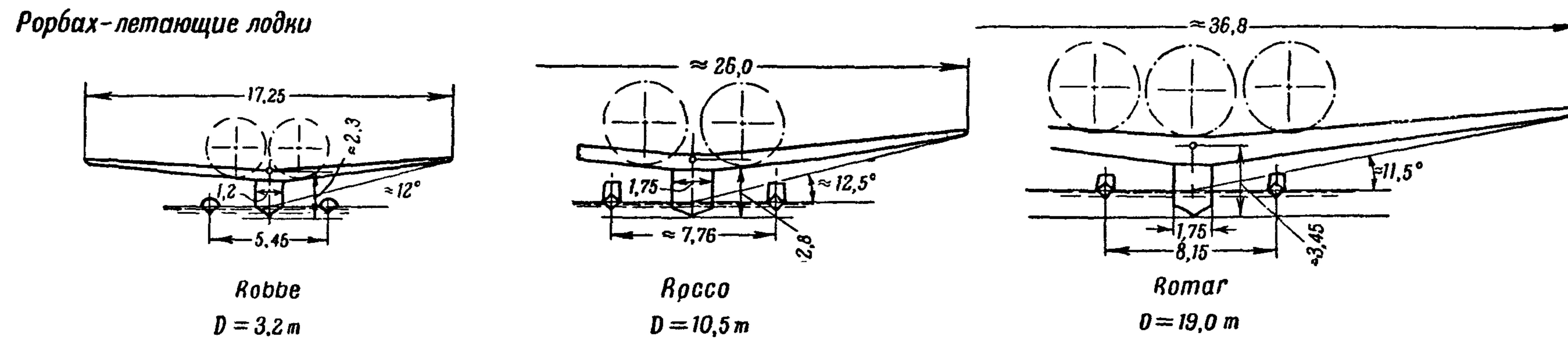
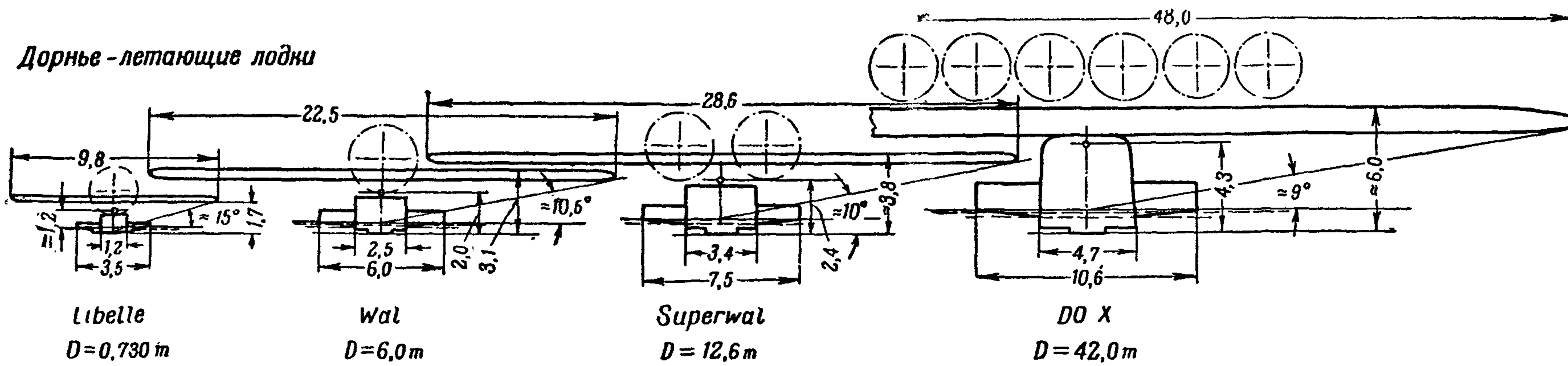
г) двухпоплавковые.

(Амфибии по типу органов плавания всегда могут быть отнесены к одной из перечисленных групп).

Поддерживающими поплавками называются подкрыльные поплавки, располагаемые ближе к концам крыльев и имеющие относительно малое водоизмещение по сравнению с другими типами поплавков.

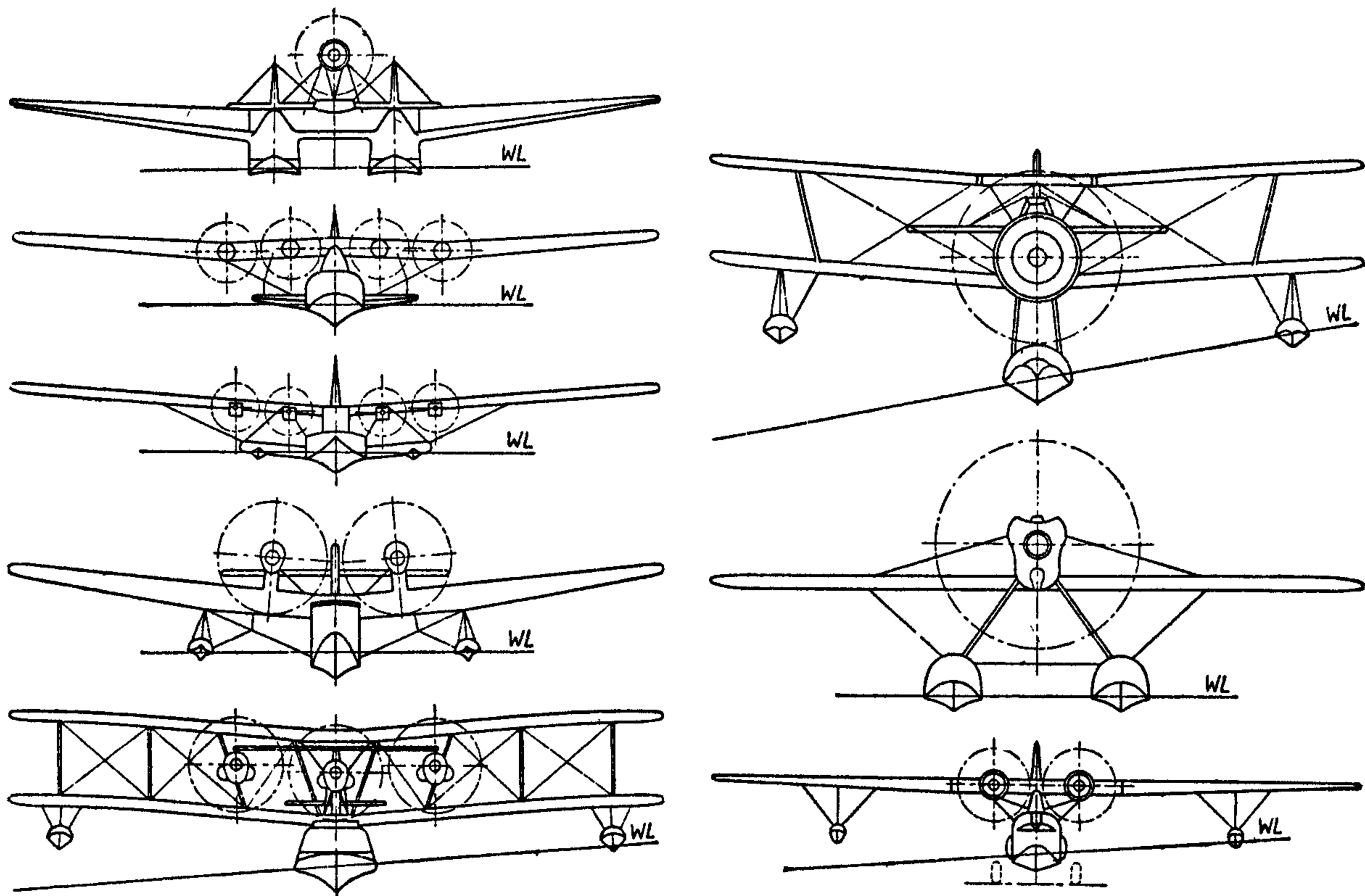
Несущими поплавками называются подкрыльные поплавки относительно большого водоизмещения, располагаемые вблизи центрального корпуса.

С точки зрения мореходности всякий гидросамолет должен удовлетворять предъявляемым к нему определенным техническим требованиям, вытекающим из назначения гидросамолета и условий его эксплуатации.



Фиг. 47

К таким требованиям относятся: наличие достаточного запаса пловучести, продольной и поперечной остойчивости (статической и динамической), непотопляемости, способность гидросамолета маневрировать на воде, способ-



Фиг. 48

ность гидросамолета безопасно выдерживать качку, взлетать и садиться на воду при минимальных длине и времени разбега при взлете и пробега при посадке.

Пловучесть

Определяется коэффициентом запаса пловучести $k = \frac{V - V_{\text{п}}}{V_{\text{п}}}$

(где $V_{\text{п}}$ — водоизмещение, соответствующее максимальному полетному весу, V — объем водонепроницаемой части корпуса) при максимальном полетном весе $\gamma V_{\text{п}}$ без учета водоизмещения подкрыльных поплавков (стр. 200).

В таблице IX приводятся средние значения коэффициента запаса пловучести для различных типов гидросамолетов.

Таблица IX

Типы гидросамолетов	$k[\%]$
Двухпоплавковые	90—100
Однопоплавковые	90—100
Гоночные двухпоплавковые (на кубок Шнейдера) . . .	60—70 в отдельн. случаях 15—40
Лодочные $\left\{ \begin{array}{l} V_0 < 2,5 \text{ м}^3 . \\ 2,5 < V_0 < 9,0 \text{ м}^3 . \\ V_0 > 9,0 \text{ м}^3 . \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 25) \\ 250—350 \\ 350 \end{array} \right.$

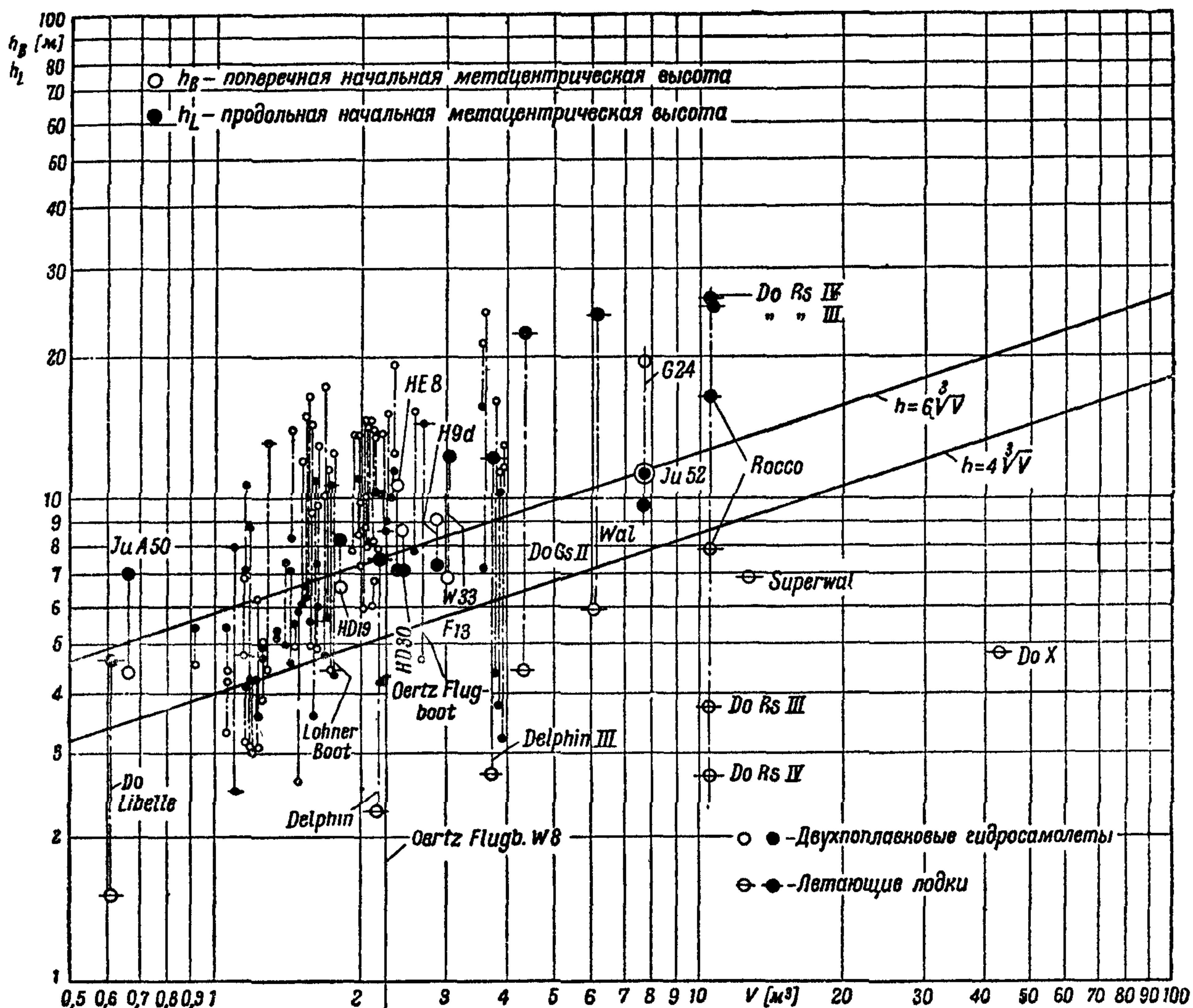
Остойчивость продольная и поперечная

Поперечная и продольная остойчивость гидросамолета характеризуется максимальным значением восстанавливающего момента и работой, потребной для опрокидывания гидросамолета. Большие их значения свидетельствуют о большей остойчивости. Для поперечной остойчивости рассматривается работа, необходимая для наклонения гидросамолета на угол, при



котором крыло касается невозмущенной водной поверхности. Остойчивость гидросамолетов с положительной начальной метацентрической высотой можно, в первом приближении, характеризовать значениями последней.

На фиг. 49 нанесены метацентрические высоты h_B и h_L различных гидросамолетов в зависимости от их водоизмещения.



Фиг. 49

В таблице X приведены значения c_{h_B} и c_{h_L} (в квадратных скобках), рекомендуемые различными авторами как средние значения, полученные для гидросамолетов, показавших в условиях эксплуатации достаточно удовлетворительную остойчивость.

Величина расчетного момента крена или дифферента для всех типов гидросамолетов может быть ориентировочно подсчитана по следующей формуле:

$$M = c_m \gamma V^{\frac{4}{3}}$$

(c_m — безразмерный коэффициент, получающий для двухпоплавковых гидросамолетов по Кроссеку¹ для крена ($c_{m\theta}$) или дифферента на нос ($c_{m\varphi}$) значения: $c_{m\theta} = c_{m\varphi} \geq 1,0$ и для дифферента на корму: $c_{m\varphi} \geq 0,6$).

Для двухпоплавковых гидросамолетов по требованиям Воздушного Министерства Англии⁴ расчетный момент дифферента (m_m), опрокидывающий гидросамолет через корму, должен быть не менее χV при следующих значениях χ : для гидросамолетов с водоизмещением $V \leq 0,9 \text{ м}^3$ при значении $\chi = 0,305$ и для $V \geq 5,4 \text{ м}^3$ при значении $\chi = 0,915$. В диапазоне водоизмещений $V = 0,9 - 5,4 \text{ м}^3$ значения χ изменяются линейно.

Таблица X

 Таблица значений коэффициентов метацентрических высот $c_h = \frac{h}{\sqrt{V}}$

Автор и страна	Нельсон ⁷ (США)	Диль ¹⁸ (США)	Воздушное министер- ство Ан- глии ⁴	Мунро ³ (Англия)	Лоуэр ¹² (Англия)	Кроссек ¹ (Германия)
Летающие лодки с поддержи- вающими поплавками	3,97	5,57 [5,57]			5,18—7,17	
Летающие лодки с несущими поплавками	3,19	5,57 [5,57]			5,18—7,17	$h_B = (3,0—5,0)V^{0,26}$ (типа Рорбах) $h_L \approx h_B$
Летающие лодки с жабрами .						$h_B = (4,1—6,9)V^{0,21}$ (типа Дорнье) $h_L \approx h_B$
Однопоплавковые гидросамолеты	4,77	5,57 [5,57]				
Двухпоплавковые гидросамолеты	5,57	5,57 [5,57]	≥ 4 [≥ 6]			$h_B = (4,6—7,6)V^{0,28}$ (типа Юнкерс) $h_L \approx h_B$
Двухпоплавковые гоночные гидросамолеты				2,76 [6,0]		
Пассажирские гидросамолеты				4,35		

* При предельном заднем положении центра тяжести. При этом условии гидросамолет должен оставаться устойчивым при наклонении на корму на угол, превосходящий на 7° грузовой дифферент.

Приведенные выше требования основаны преимущественно на статистических данных построенных гидросамолетов, показавших удовлетворительную остойчивость при испытаниях их на море. При проектировании новых гидросамолетов органы остойчивости должны быть выбраны в соответствии с общей схемой самолета и заданными условиями эксплуатации — волна, ветер. Необходимые для этого данные получают путем специальных продувок моделей в аэродинамической трубе в присутствии экрана.

По Генсекеру¹⁴ максимальное значение гидростатического восстанавливающего момента гидросамолета должно вдвое превышать значение расчетного момента от внешних сил.

По Мунро³ для летающих лодок избыток восстанавливающего момента над моментом крена $M_{\text{визб}}$ имеет следующие значения в тм:

$$\text{при } V < 3,0 \text{ м}^3 \text{ должен быть } M_{\text{визб}} = 0,6 V,$$

$$\text{при } V = 3,0—9,0 \text{ м}^3 \text{ „ } M_{\text{визб}} = (0,9—1,1) V.$$

Двухлодочные и двухпоплавковые гидросамолеты

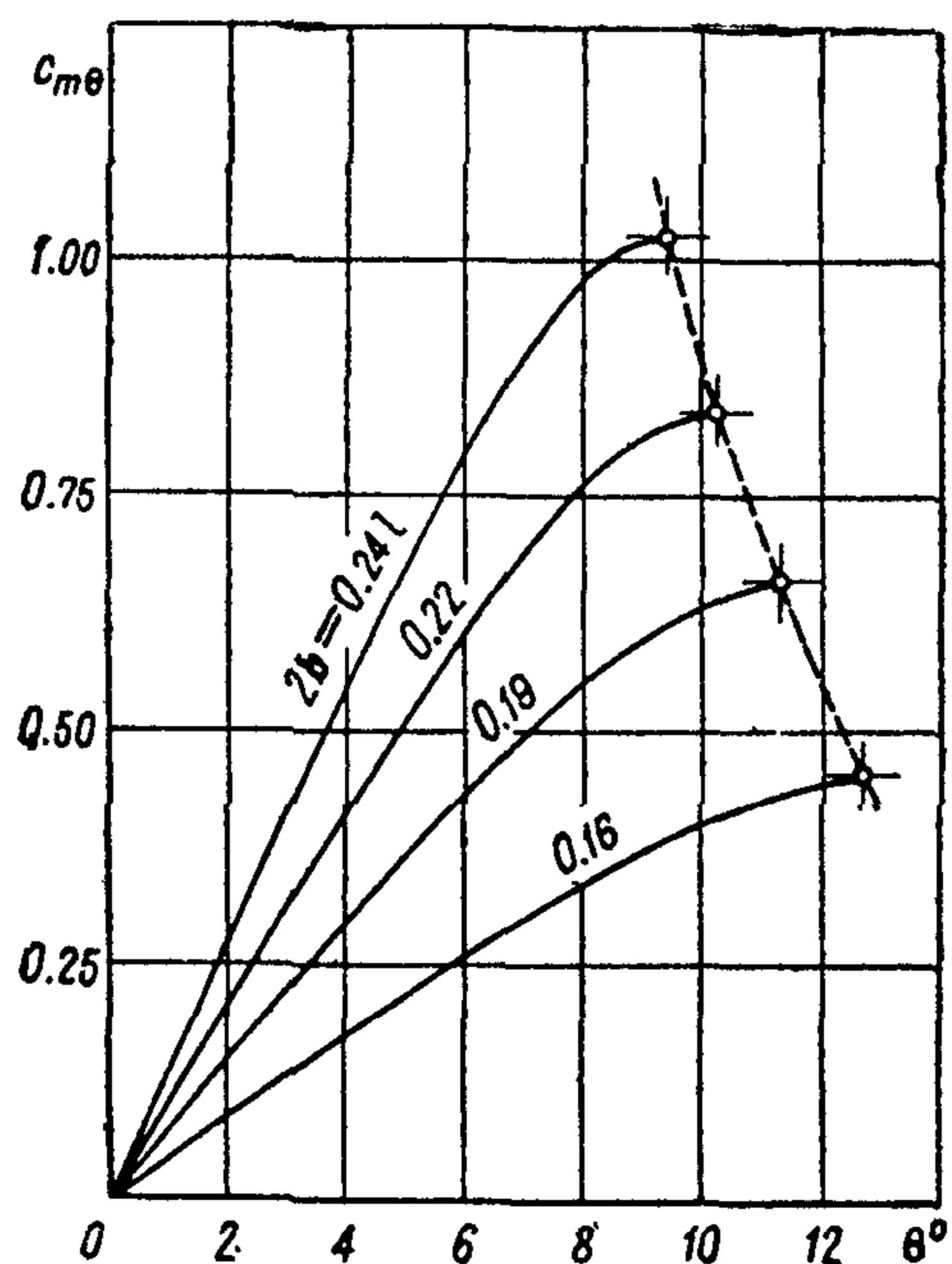
Потребная поперечная остойчивость гидросамолета достигается выбором соответствующего расстояния $2b$ между корпусами ($b = 7,5-10\%$ от l — размаха крыла). Ограничение на величину b накладывается условиями посадки на воду, так как в случае односторонней посадки при широко разнесенных корпусах гидросамолет может оказаться сбитым с курса и при последующих ударах получить значительные напряжения в частях конструкции. Кривая восстанавливающих моментов крена для двухлодочных и двухпоплавковых гидросамолетов характеризуется постоянным возрастанием моментов вместе с углами крена вплоть до касания воды крылом или до погружения, соответствующего резкому изменению формы надводной части лодки (или поплавка).

Влияние разноса поплавков на величину коэффициента восстанавливающего момента

$$c_{m'} = \frac{M_{D\theta}}{\gamma V^3}$$

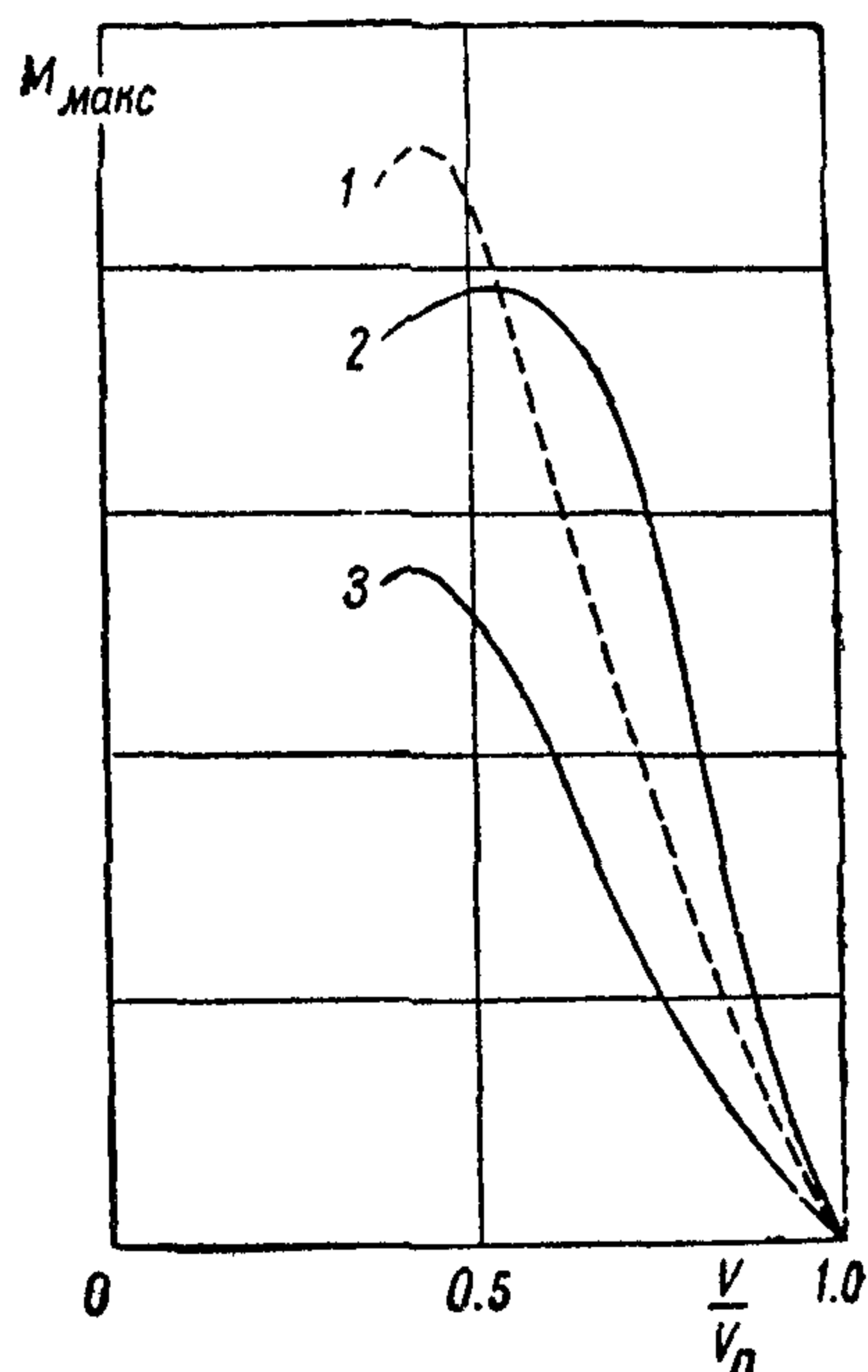
иллюстрируется на фиг. 50.

Максимальные восстанавливающие моменты, соответствующие точке опрокидывания, возрастают с повышением запаса пловучести¹ (фиг. 51), достигая максимума при водоизмещении $V \approx (0,4-0,5) V_n$, где V_n — полный



Фиг. 50

объем корпусов гидросамолета. Это обстоятельство нашло отражение в требовании запаса пловучести у поплавков двухпоплавковых гидросамолетов в 100% .



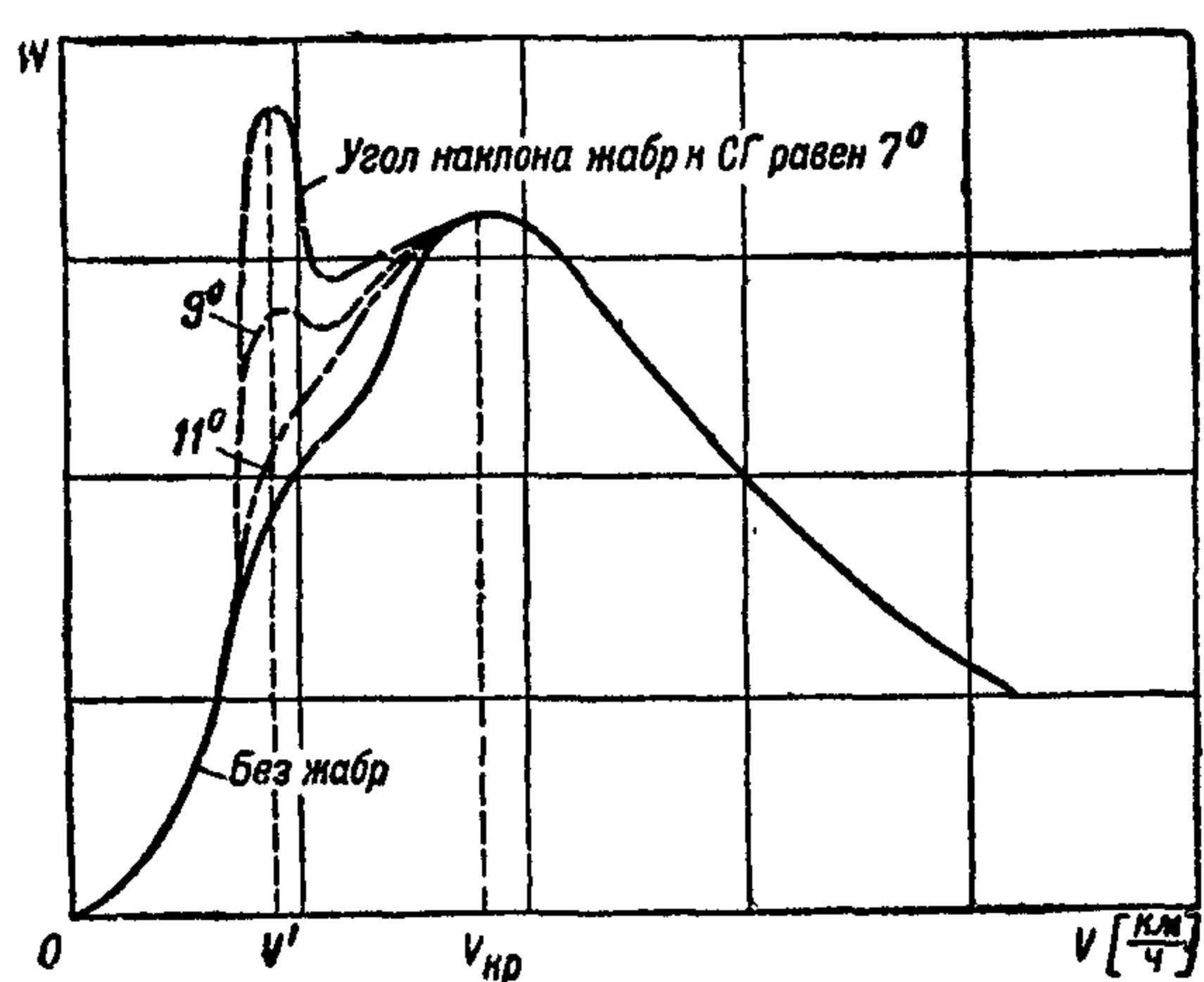
Фиг. 51. Кривая 1 относится к моментам относительно продольной оси, а кривые 2 и 3 — относительно поперечной оси: 2 — при дифференте на нос, а 3 — при дифференте на корму

Летающая лодка

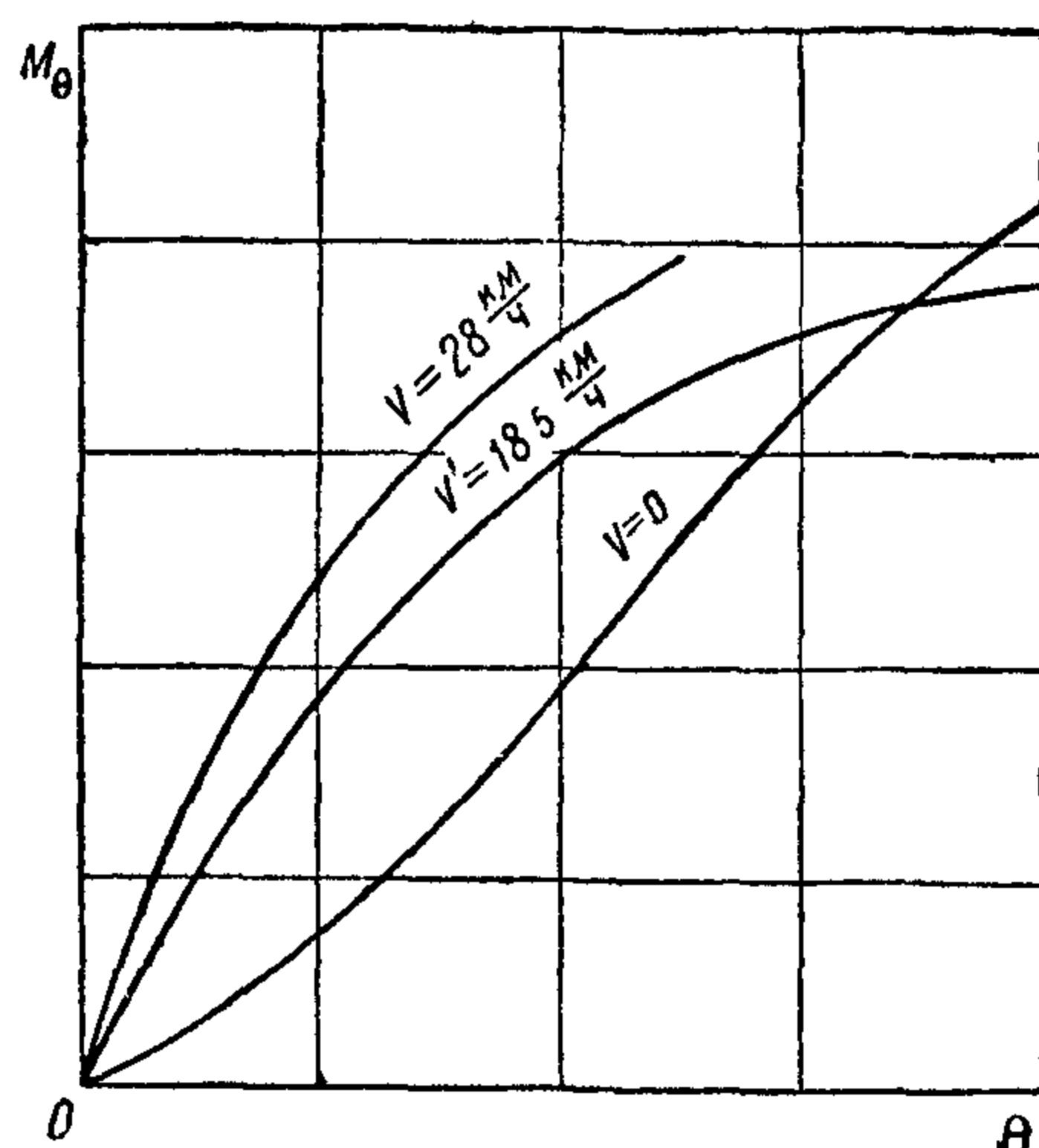
Жабры (плавники или штуммеля). Размах жабр обычно принимают равным $22-36\%$ размаха крыла. Летающая лодка с жабрами обладает удовлетворительной остойчивостью, но с другой стороны, дополнительный вес, большое индуктивное сопротивление жабр и большой угол атаки последних ухудшают летные качества гидросамолета, а при большой поверхности жабр могут возникнуть большие по величине удары при разбеге

и посадке. Сочетание жабр с сильно килеватым днищем лодки более благоприятно в отношении устойчивости и посадки на воду, чем с плоским — типа Дорнье. Чтобы не задевать волн при разбеге жабры принято располагать над скулой. Задняя кромка жабр осуществляется в виде вертикальной плоскости, чтобы создавать эффект редана.

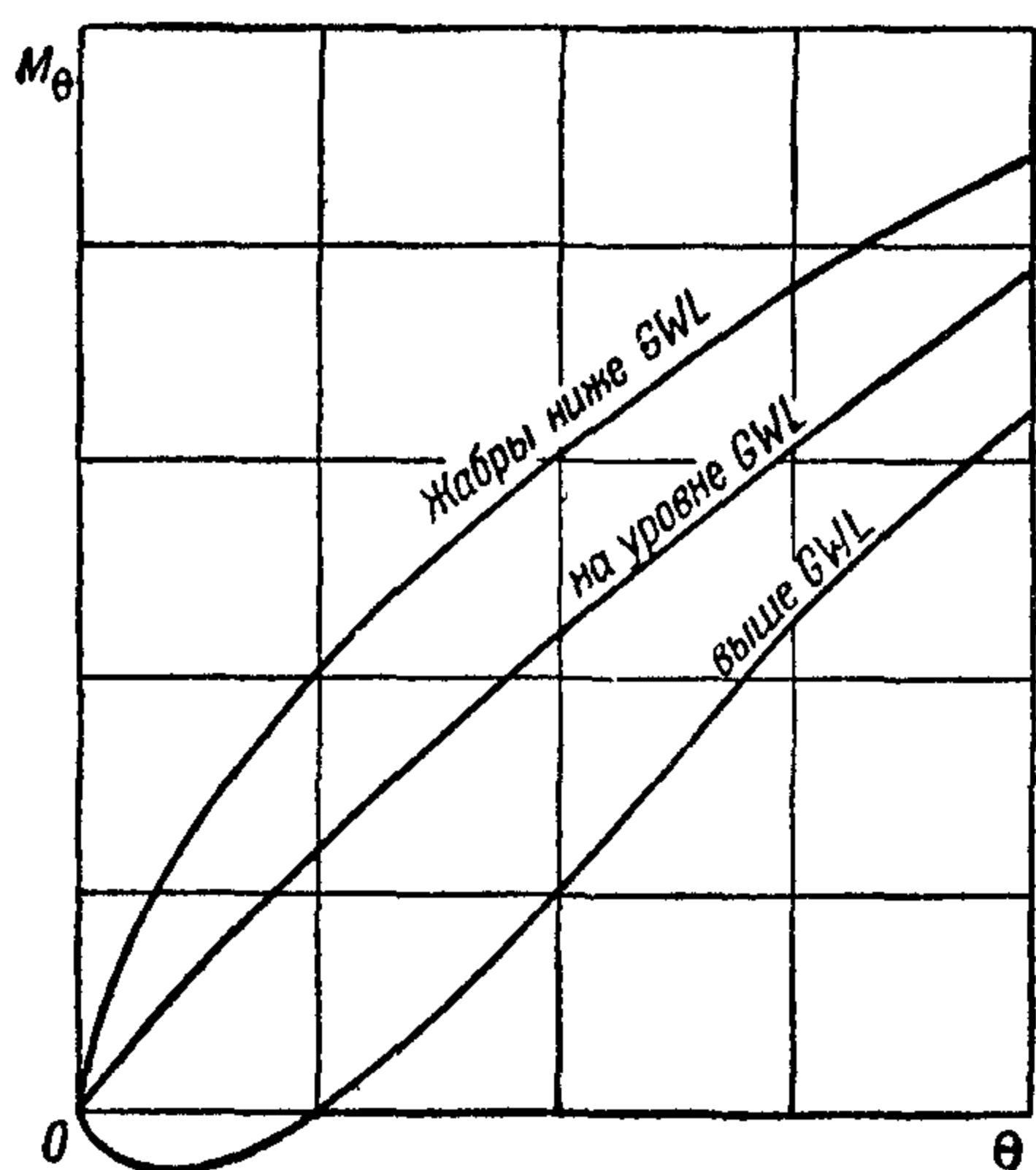
Наличие жабр оказывает влияние на систему носовых волн, что приводит к возникновению местного повышения кривой сопротивления на скоростях до выхода на редан (так называемый пик сопротивления) (фиг. 52). Исследованиями в РАЕ⁵ установлено следующее влияние расположения жабр на характеристики килеватой лодки:



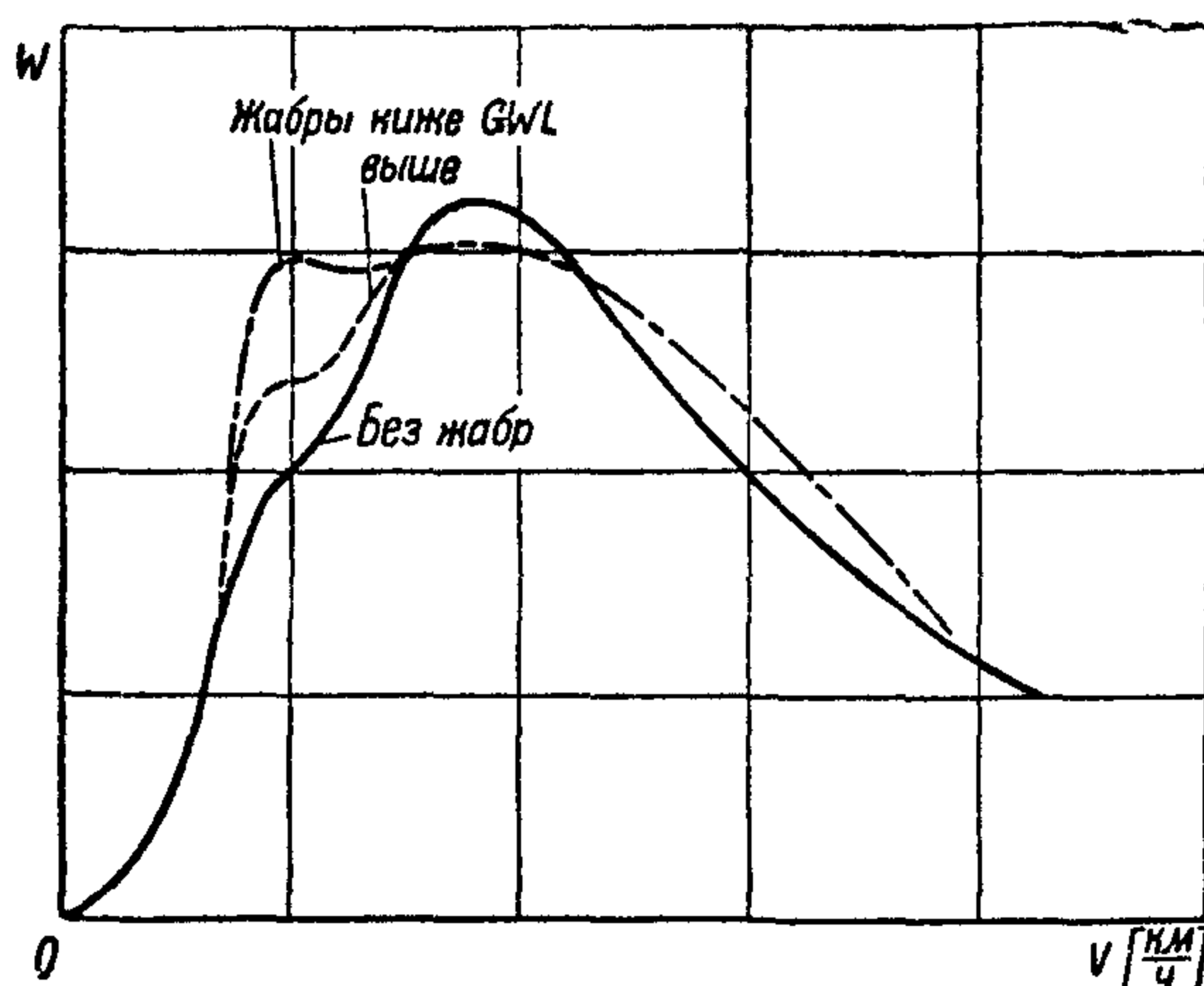
Фиг. 52



Фиг. 53



Фиг. 54



Фиг. 55

а) максимальный восстанавливающий момент гидросамолета относительно продольной оси с увеличением скорости от 0 до скорости V пика сопротивления уменьшается. При дальнейшем увеличении скорости, он увеличивается. Таким образом, в отношении потери поперечной устойчивости, может оказаться опасным режим пика сопротивления (фиг. 53);

б) поперечная статическая и динамическая устойчивость возрастает с опусканием жабр (фиг. 54);

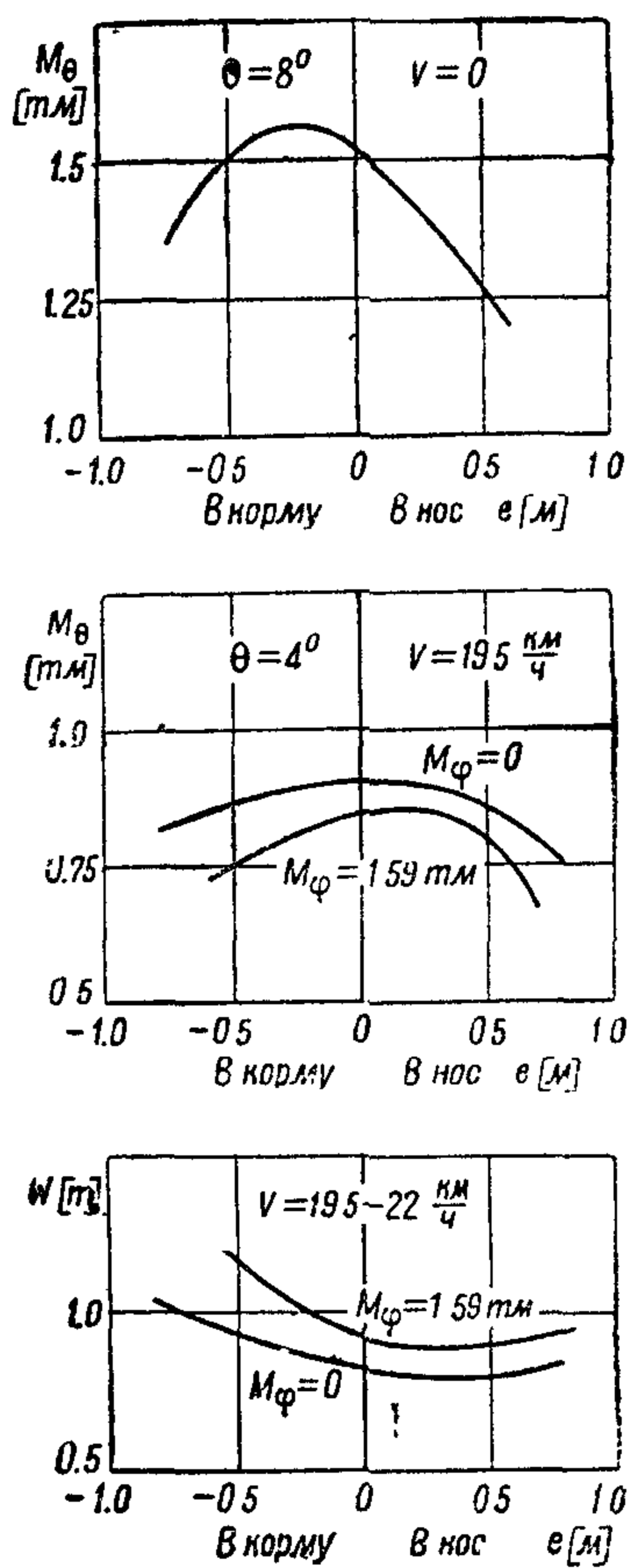
в) пик сопротивления, т. е. местное повышение сопротивления, на скоростях до $V = V_{кр}$ исчезает или уменьшается с увеличением угла и высоты установки жабр к строительной горизонтали (фиг. 52 и 55);

г) рациональным положением жабр в смысле малого гидродинамического сопротивления является их положение над ватерлинией плавания, под большим углом атаки и со значительным смещением задней кромки от первого редана вперед; в смысле же хорошей поперечной устойчивости более рациональна установка жабр несколько ниже ватерлинии и с положением

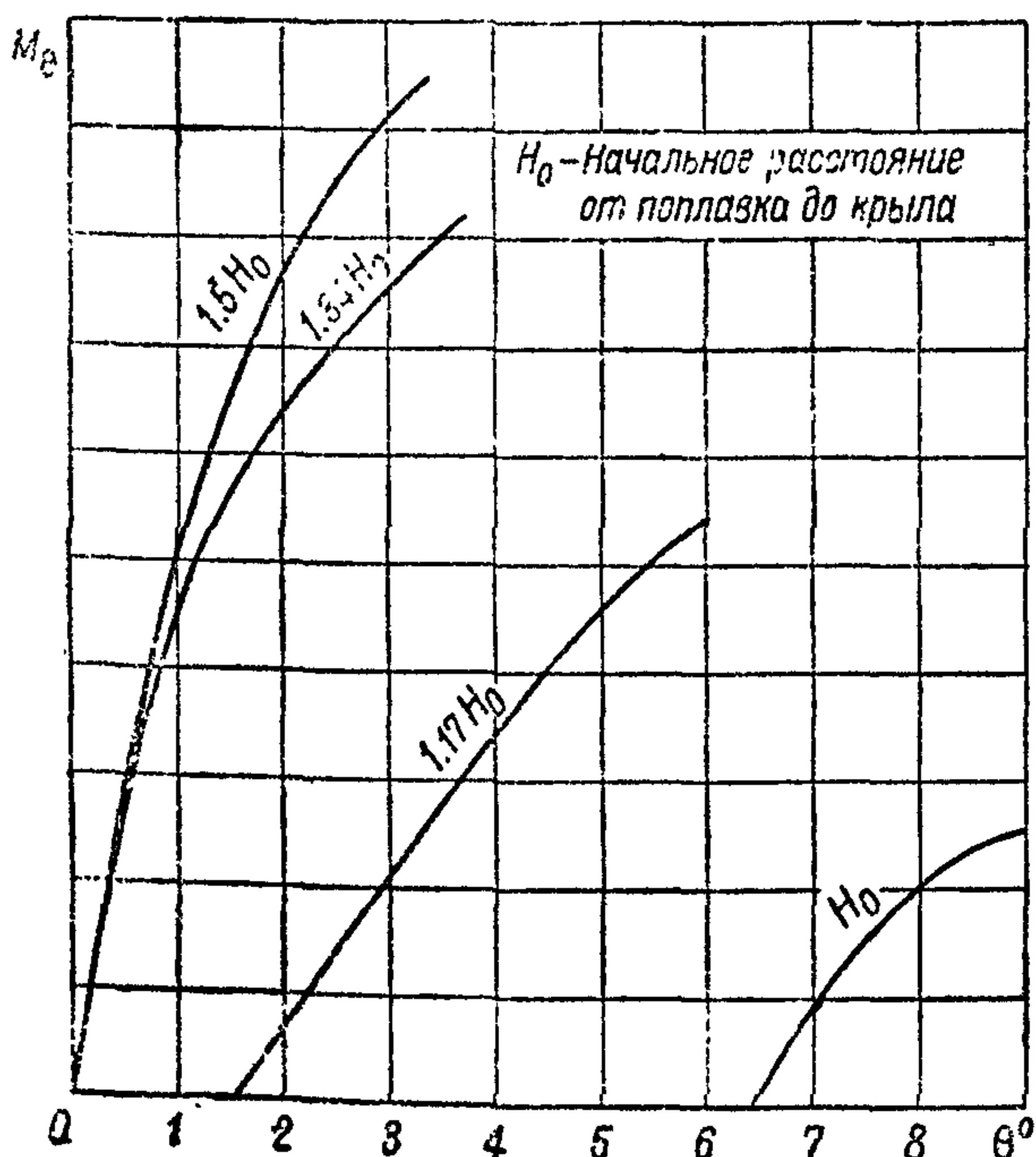
задней кромки у первого редана. На фиг. 56 показано влияние положения жабр по длине на величину восстанавливающего момента и гидродинамического сопротивления (e — расстояние от первого редана до задней кромки жабр у корня);

д) при правильном расположении жабер дают (небольшое) увеличение аэродинамического сопротивления гидросамолета по сравнению с подкрыльными поплавками (фиг. 57).

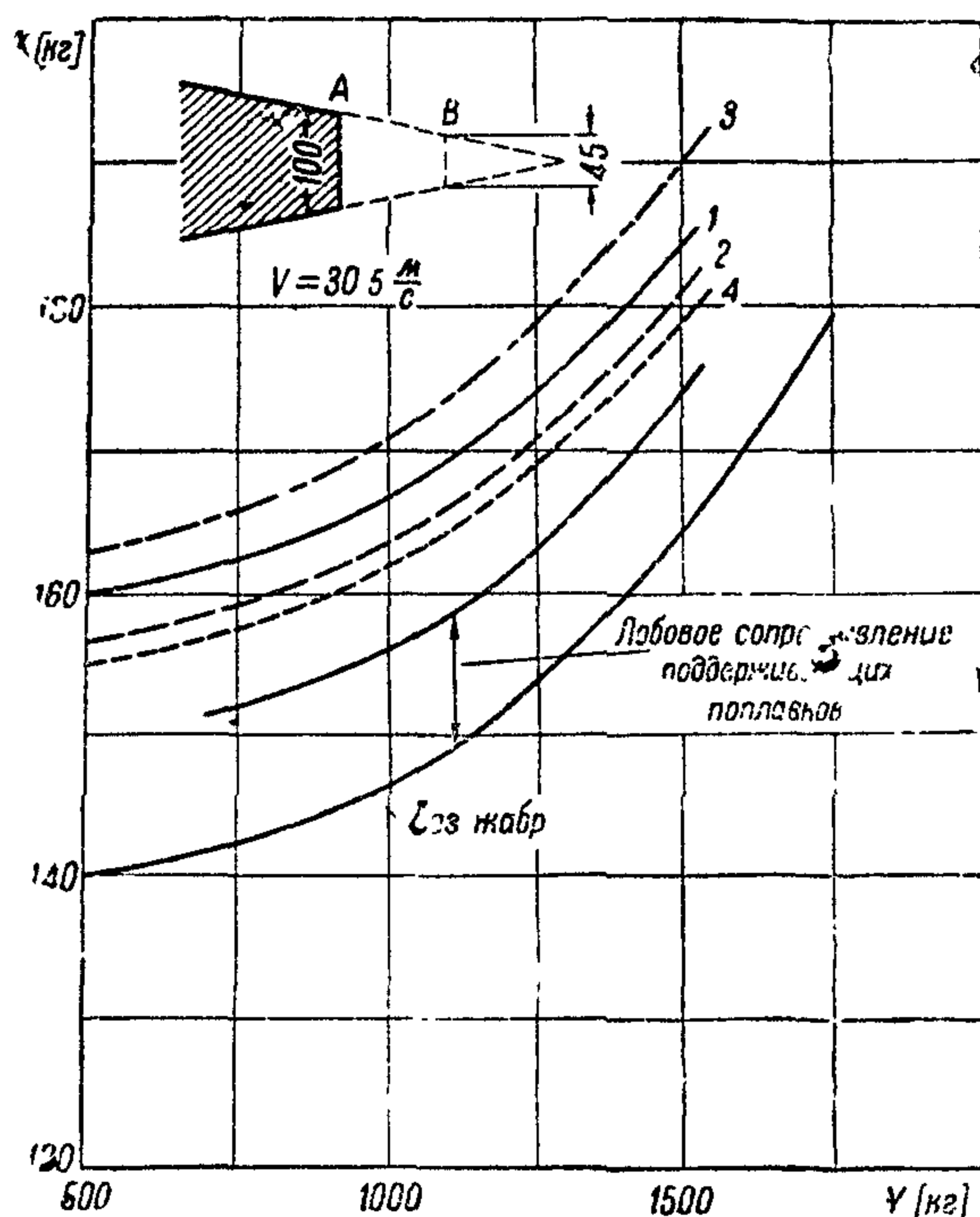
Поддерживающие поплавки. При вертикальном положении плоскости симметрии гидросамолета поддерживающие поплавки не касаются поверхности воды и гидросамолет получает остойчивость лишь при некотором крене ($\theta_0 = 2-3^\circ$). Размещение поддерживающих поплавков у концов крыльев



Фиг. 56



Фиг. 58



Фиг. 57. Положение жабр соответствует: 1 — наименьшему гидродинамическому сопротивлению; 2 — наименьшему аэродинамическому сопротивлению; 3 — очень большому углу установки жабр (11°). Кривая 4 — соответствует удлинению жабр А до В

позволяет обеспечить необходимый восстанавливающий момент, а за счет коротких стоек и малого объема этих поплавков уменьшить и весовые и аэродинамические потери.

Остойчивость возрастает с увеличением разнеса и с опусканием поплавков по высоте (фиг. 58); опускание поплавков ограничивается требованием, вытекающим из условия наименьшего сопротивления при разбеге, чтобы поплавок касался воды при $\theta = 1-2^\circ$.

Основными преимуществами поддерживающих подкрыльных поплавков по сравнению с несущими под-

крыльными поплавками являются: малый вес, незначительные аэродинамическое (малый мидель) и гидродинамическое сопротивления (быстрый выход из воды и слабая интерференция с центральным корпусом при разбеге). К недостаткам относится ограниченная мореходность, заключающаяся в наличии начального крена, в потере устойчивости курса при посадке с креном на один поплавок, в опасности разворота во время разбега при встрече поплавок с волной, в перегрузке концов крыльев вследствие ударов, получаемых попеременно от обоих поплавков при плавании на волне, и в необходимости преодолевать на малых скоростях при касании одним поплавком воды (рулежка и дрейф) вращающий момент относительно вертикальной оси от силы сопротивления погруженного в воду поплавок.

Поддерживающие поплавки на концах крыльев применяются, главным образом, на бипланах. На монопланах их применение затрудняется из-за высокого расположения концов крыла над водой, требующего значительных подкосов. В последнее время, однако, поддерживающие поплавки стали употребляться и на монопланах, и появились убирающиеся в полете поплавки.

При дрейфе задняя кромка кормы поплавок не должна зарываться в воду. Угол установки нижней строительной горизонтали поплавок относительно грузовой ватерлинии рекомендуется принимать равным 2° .

При выборе поддерживающих поплавков основным критерием являются требования гидростатики; при этом в каждом отдельном случае следует производить гидростатический расчет. В первом приближении объем подкрыльных поплавков можно подбирать по графику Гоуджа (фиг. 59) (размеры по нему получаются несколько преувеличенными) или по приводимым ниже формулам.

По требованию Департамента Коммерции США поддерживающие подкрыльные поплавки должны быть установлены таким образом, чтобы при полном погружении их в воду создавался восстанавливающий момент, превосходящий значение внешнего (опрокидывающего) момента не менее чем в полтора раза. Нельсон (США)⁷ считает, что восстанавливающий момент поплавок при полном его погружении должен быть в 3,0—3,5 раза больше, чем опрокидывающий момент от собственной неустойчивости лодки и приводит для определения водоизмещения поддерживающего поплавок следующую формулу:

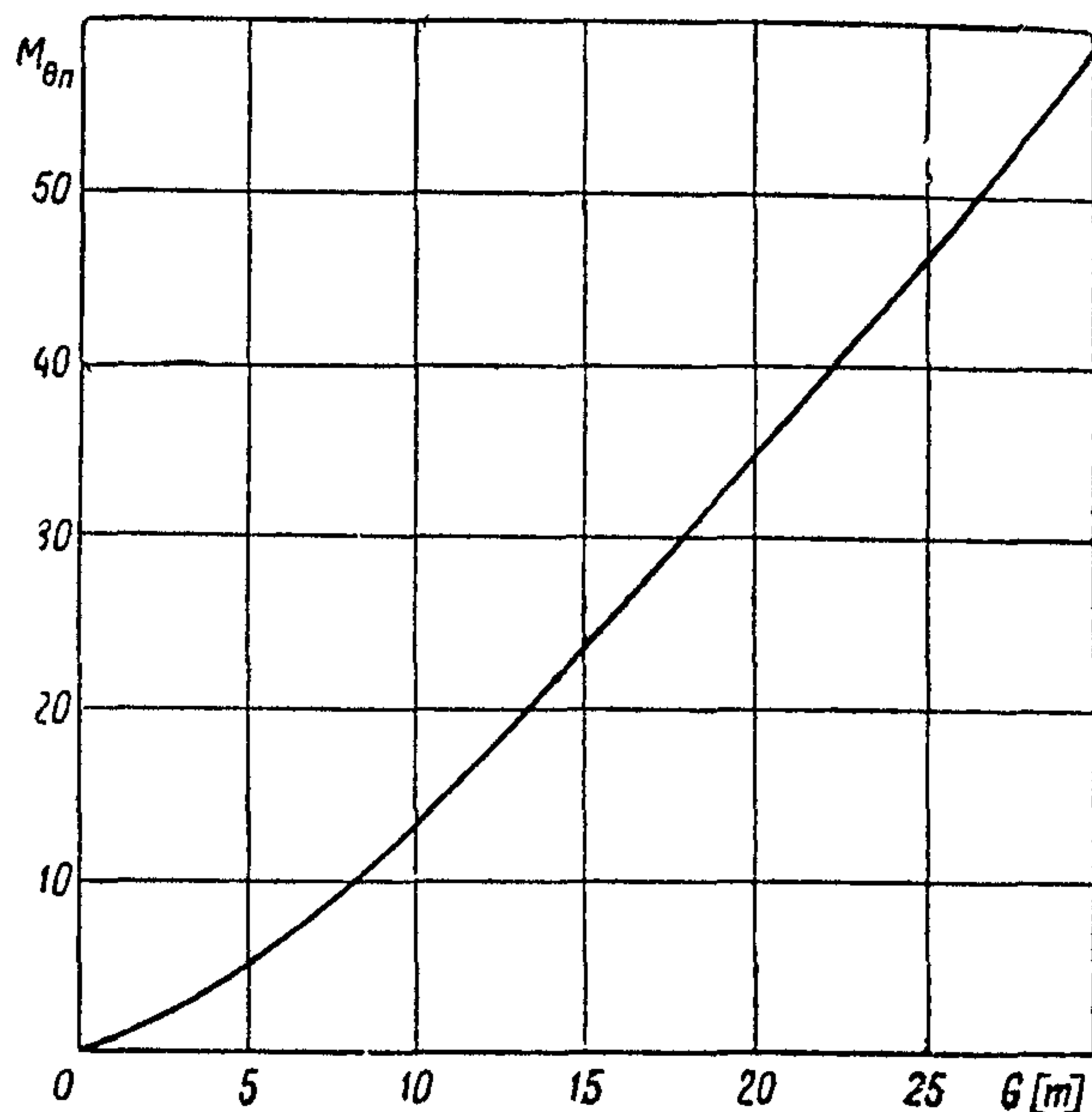
$$v = \frac{V}{b} (0,356 \sqrt[3]{V} + a \sin \theta),$$

где v — водоизмещение поддерживающего поплавок [м^3]

a — расстояние между центром тяжести самолета и центром величины лодки [м]

θ — угол крена самолета при полном погружении поплавок.

Диль (США)¹³, считая, что восстанавливающий момент от полностью погруженного поплавок должен быть в 2,5—3,5 раза больше, чем опрокидывающий момент от собственной неустойчивости лодки,



Фиг. 59. Кривая для подбора подкрыльных поплавков. G — полный вес летающей лодки; M_{0n} равно произведению весового водоизмещения поплавок на плечо до ц. т.

предлагает определять водоизмещение поддерживающих поплавков по формуле:

$$v = cV \frac{a}{b} \operatorname{tg} \theta,$$

где $c = 2,5—3,5$.

По требованиям Министерства Авиации Англии водоизмещение поддерживающего поплавок должно быть таким, чтобы обеспечить при полном его погружении восстанавливающий момент не менее, чем

$$M_D = \gamma V (h_B + 4 \sqrt[3]{V}) \sin \theta \text{ [тм]},$$

где h_B — метацентрическая высота корпуса при отсутствии крена [м] (берется абсолютная величина),

θ — угол крена при погруженном полностью поплавке (если $\theta < 7^\circ$, то в формуле полагают $\theta = 7^\circ$).

Несущие поплавки. Гидросамолет с несущими поплавками при нормальном плавании не имеет крена.

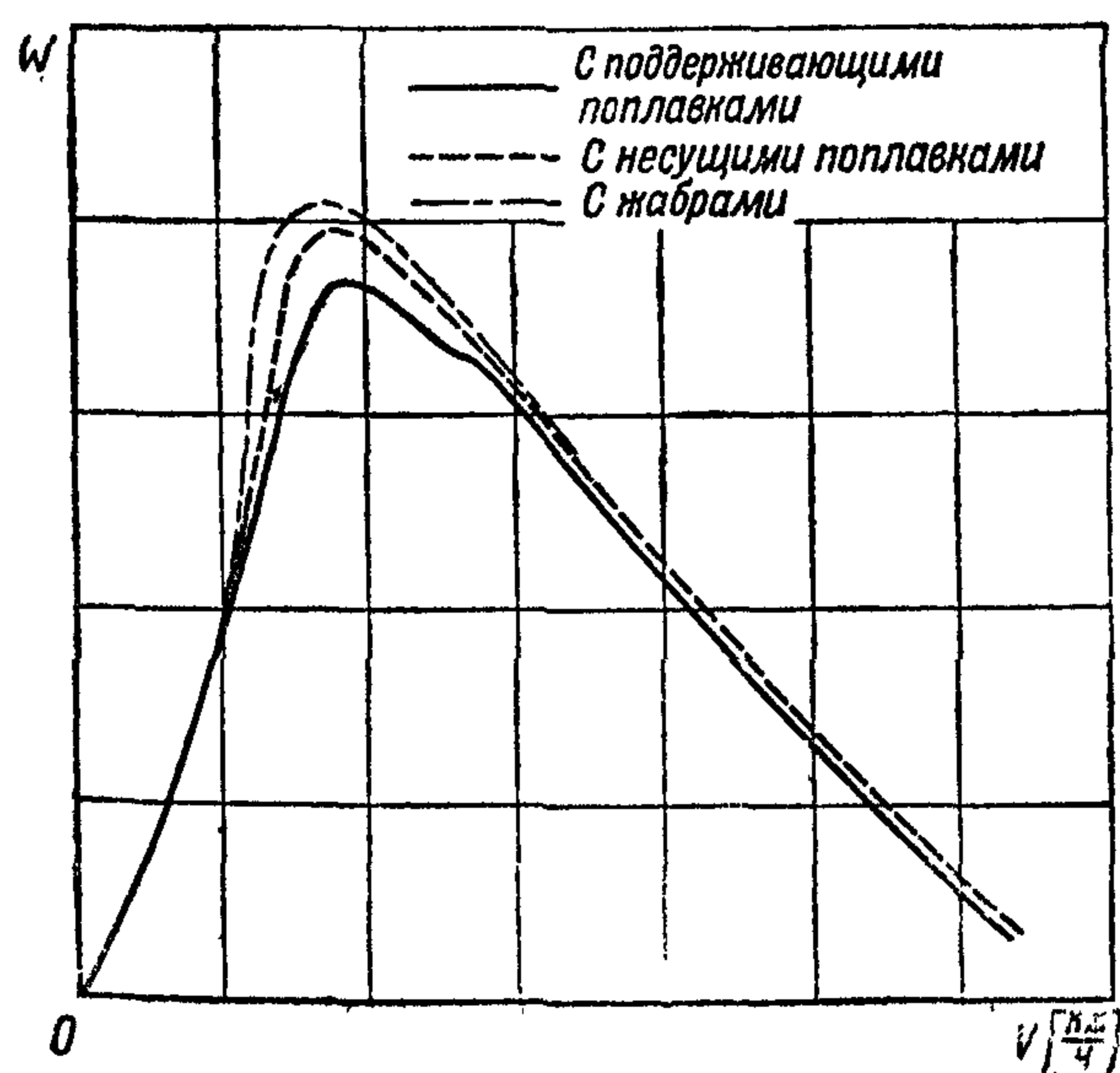
Необходимая остойчивость достигается благодаря значительному водоизмещению поплавков (10—15% водоизмещения гидросамолета), расположенных на малом плече ($b = 11—16\% l$). Несущие поплавки применяются преимущественно в подкосных или свободносущих монопланах.

Схема гидросамолета с несущими поплавками отличается большой мореходностью, за исключением поворотливости при плавании, и уступает другим схемам по аэро-гидродинамическим и весовым характеристикам (большой объем и мидель поплавков, значительное гидродинамическое сопротивление поплавков при разбеге до выхода их из воды при скорости $V \approx 0,4—0,5 V_0$ и интерференция их с лодкой).

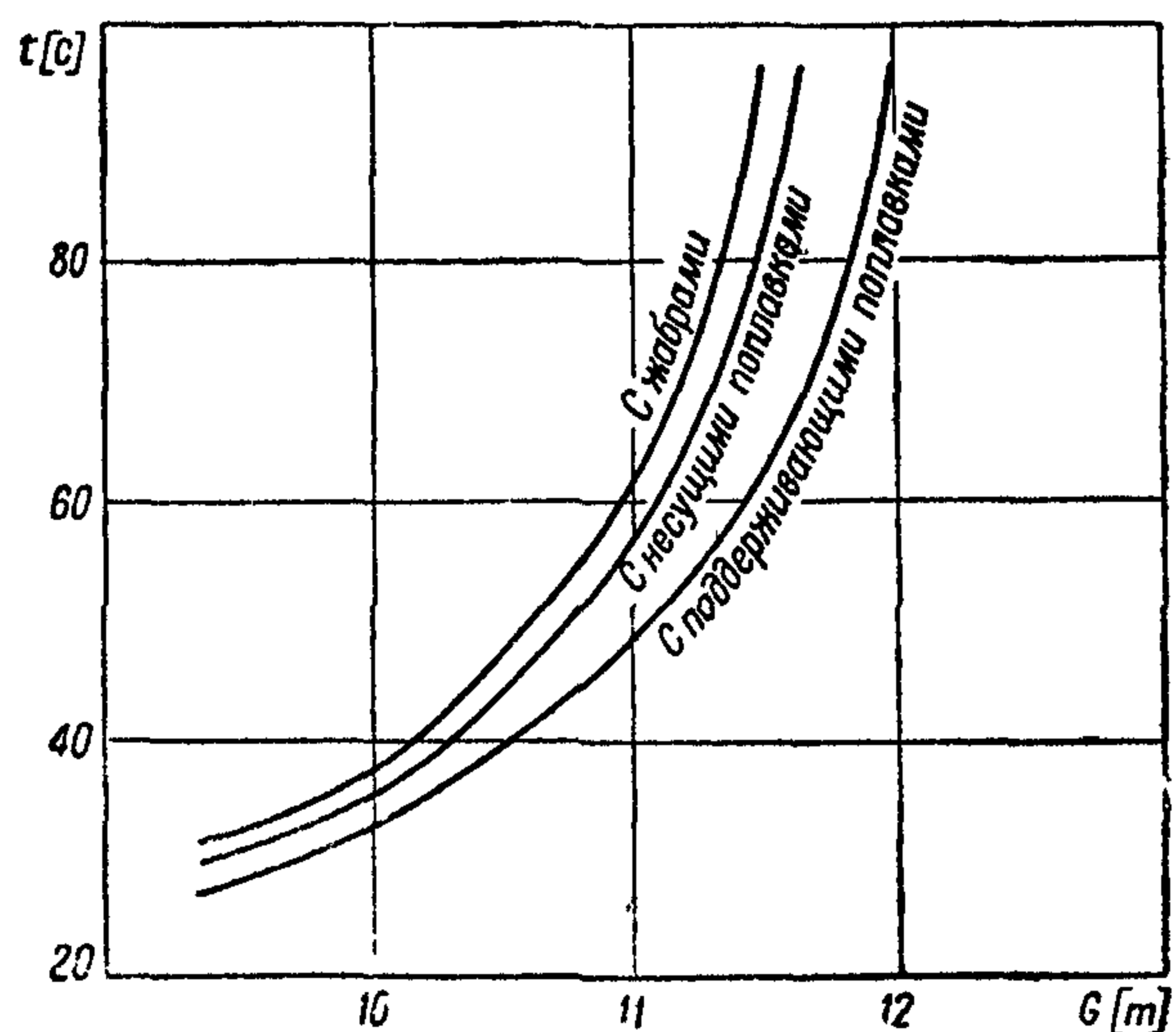
Осадка несущих поплавков определяется из условия, чтобы при спокойном плавании их запас пловучести не превосходил 300%. Определение объема поплавка возможно производить по формулам, приведенным на стр. 69.

Сравнение характеристик различных органов поперечной остойчивости

Влияние различных типов органов поперечной остойчивости на взлетные характеристики гидросамолетов по исследованиям над моделью и натурой летающей лодки⁶ оценивается следующим образом:



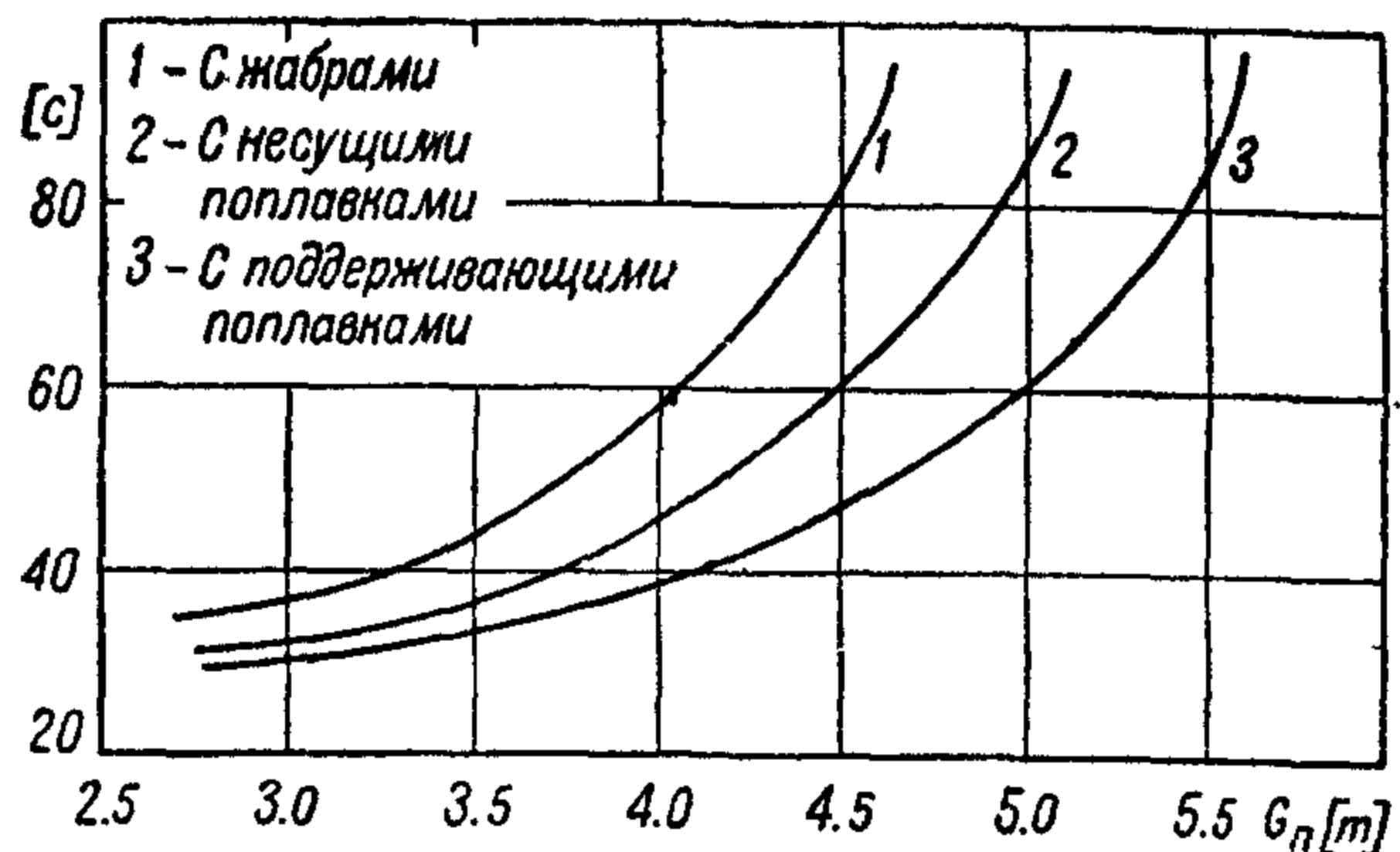
Фиг. 60



Фиг. 61

а) замена поддерживающих поплавков несущими или жабрами повышает гидродинамическое сопротивление, в особенности на критической скорости (фиг. 60);

б) жабры и несущим поплавкам по сравнению с поддерживающими увеличивают время взлета для одного и того же полетного веса; увеличение сопротивления, вызываемое жабрами и несущими поплавками, приводит к уменьшению предельного взлетного веса летающей лодки соответственно на 4% и 3% (при $t=60$ с), по сравнению с весом лодки, снабженной поддерживающими поплавками (фиг. 61); полезная нагрузка в этом случае также уменьшается; для времени разбега $t=60$ с уменьшение полезной нагрузки соответственно равно 17 и 9% (фиг. 62).



Фиг. 62

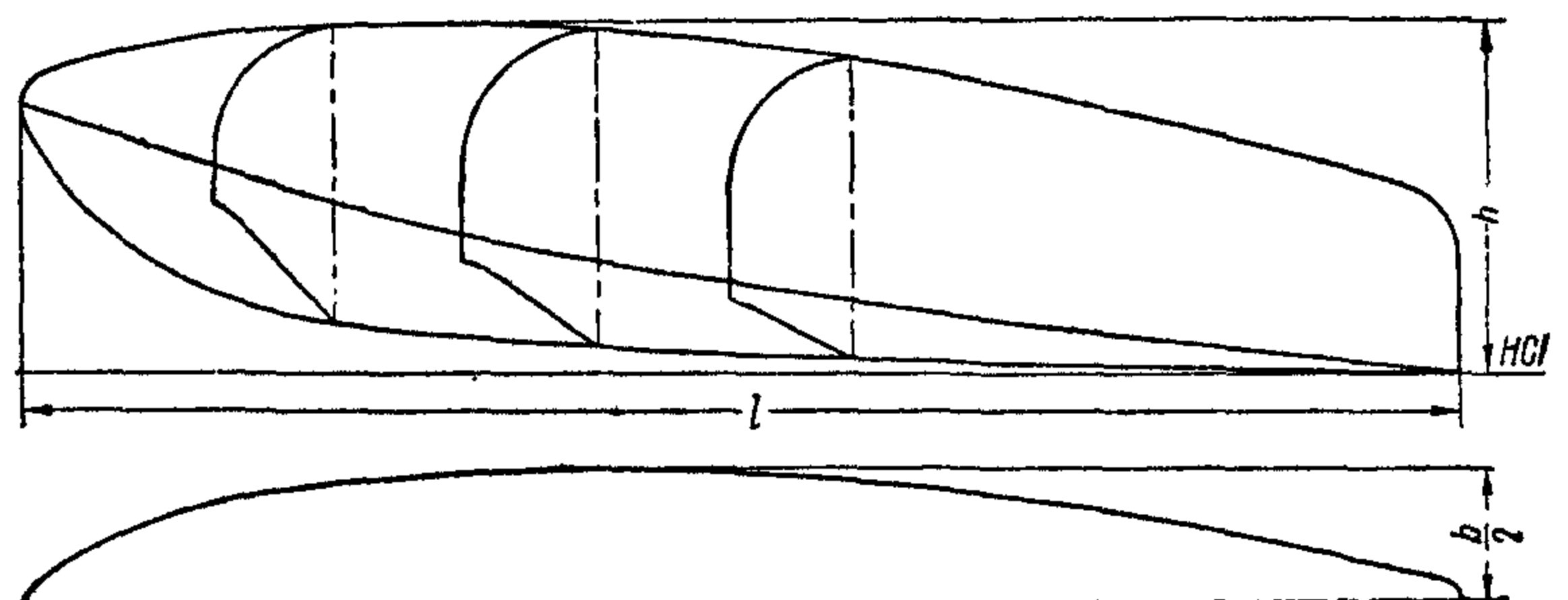
Согласно испытаний в опытовом бассейне на критической скорости сопротивление однопоплавкового гидросамолета на 10—20% меньше, чем двухпоплавкового.

Выбор формы поплавков определяется аэро-гидродинамическими, весовыми и производственными требованиями. С точки зрения взлета и посадки наличие редана обеспечивает чистоту хода поплавка, а килеватость днища — смягчение посадочного удара.

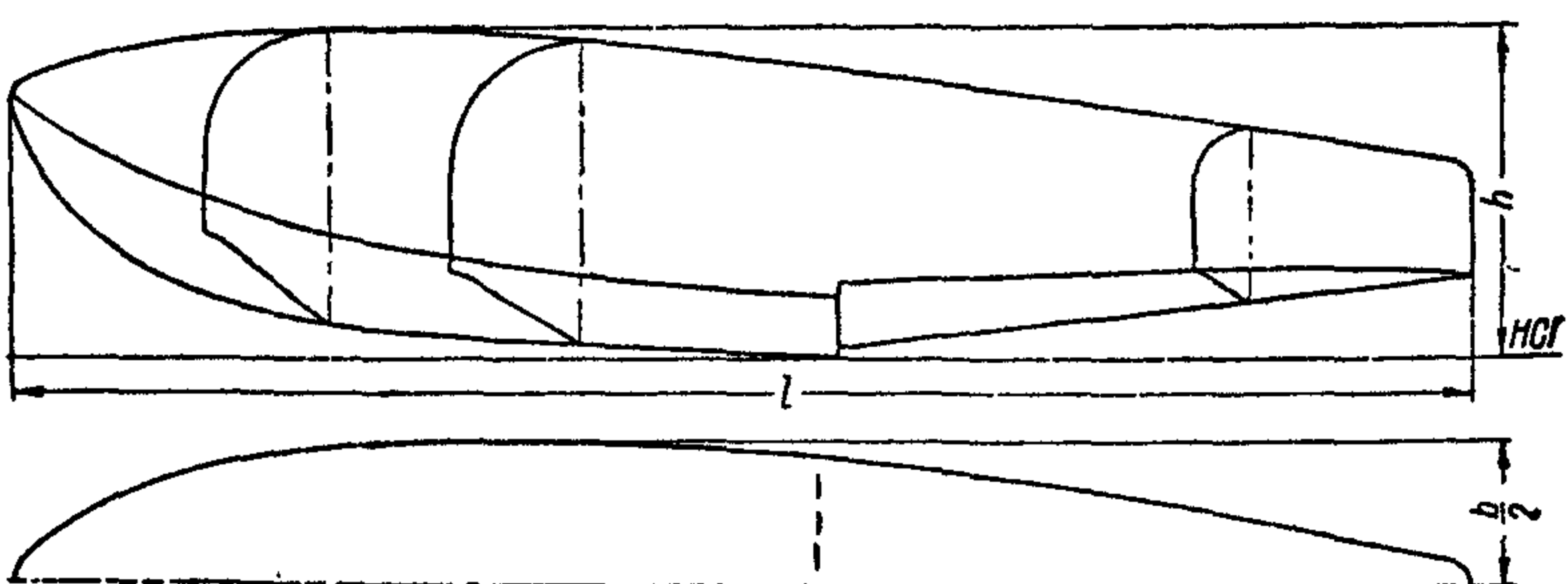
В практике проектирования широко распространено соотношение ширины, высоты и длины поплавка $b = h = 0,25 l$.

Наиболее распространенными типами поплавков являются изображенные на фиг. 63:

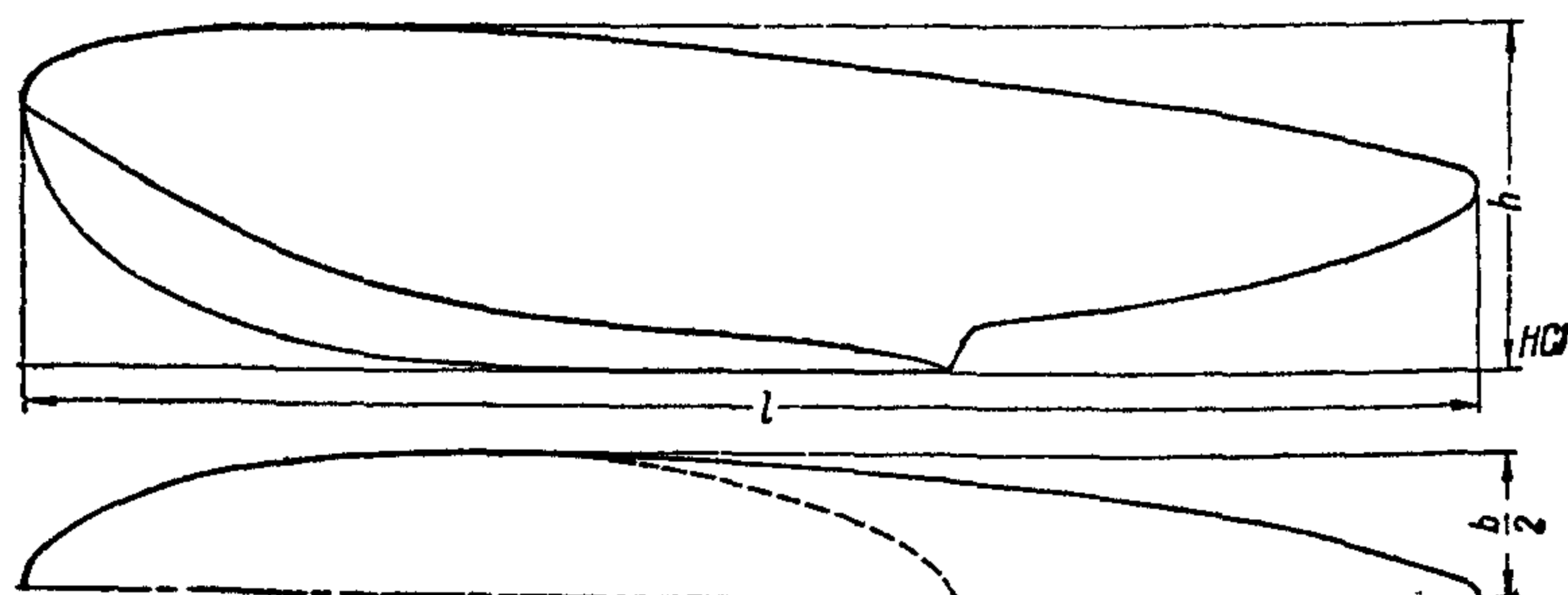
- а) безреданный плоско-килеватый;
- б) плоско-килеватый с поперечным реданом;
- с) дирижаблеобразный с заостренным в плане реданом.



Удлинение $\frac{l}{b} = 5,28$
 Коэффициент полноты водоизмещения $\delta = \frac{v}{l b h} = 0,453$
 мидель-шпангоута $\gamma = \frac{s}{b h} = 0,652$



Удлинение $\frac{l}{b} = 5,42$
 Коэффициент полноты водоизмещения $\delta = \frac{v}{l b h} = 0,447$
 мидель-шпангоута $\gamma = \frac{s}{b h} = 0,723$



Удлинение $\frac{l}{b} = 5,28$
 Коэффициент полноты водоизмещения $\delta = \frac{v}{l b h} = 0,497$
 мидель-шпангоута $\gamma = \frac{s}{b h} = 0,852$

Непотопляемость

Нормированию подлежат число и расположение водонепроницаемых переборок, необходимых для сохранения пловучести и непотопляемости гидросамолета в случае повреждения подводной части корпуса. В качестве примера приводятся требования Департамента Коммерции США и нормы Английского комитета стандартов по гражданской авиации.

Фиг. 63



Требования Департамента Коммерции США

а) При полетном весе $G \geq 2270$ кг водонепроницаемые переборки должны быть размещены таким образом, чтобы корпус гидросамолета сохранял достаточную пловучесть при затоплении любых двух смежных отсеков;

б) при полетном весе от $G = 680$ кг до $G = 2270$ кг размещение переборки должно обеспечить самолету достаточную пловучесть при затоплении любого отсека корпуса;

в) при полетном весе $G < 680$ кг постановка водонепроницаемых переборок необязательна;

г) переборки могут иметь водонепроницаемые двери для сообщения между отсеками.

Нормы Английского комитета стандартов по гражданской авиации

а) Количество и расположение водонепроницаемых переборок в поплавках одно- и двухпоплавковых гидросамолетов устанавливается так, чтобы гидросамолет не опрокинулся при затоплении любого из отсеков;

б) летающие лодки с экипажем и пассажирами свыше 10 человек должны иметь переборки, обеспечивающие пловучесть гидросамолета при затоплении одного из отсеков;

в) летающие лодки с экипажем и пассажирами менее 10 человек должны быть оборудованы водонепроницаемыми камерами или другими средствами, обеспечивающими гидросамолету пловучесть при повреждении корпуса.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Crossek H. — Beitrag zur Frage der Schwimmstabilität der Wasserflugzeuge. — „Schiffbau“ 1933, N. 17, 19, 21. Luftfahrtzeugbau und Luftfahrt N. 6, p. 1—6; N. 7, p. 1—6. N. 8, p. 1—10, 29 ill.
2. Langley M. — Seaplane float and hull design. — L. Pitman, 1935, 131 p.
3. Munro W. — Marine aircraft design. — L. Pitman, 1933, 230 p.
4. Cushing R. K., Grough A. S. and Angell R. — Static stability tests of six full scale twin float seaplanes. — ARC R. and M. 1935, N. 1653.
5. Coombes L. P. — Research in the R. A. E. tank. — „RAS“ 1935, v. XXXIX, N. 297, p. 808—834, 23 ill.
6. Coombes L. P. and Read R. H. — The effect of various types of lateral stabilisers on the take-off of a flying boat. — ARC R. and M. 1930, N. 1411.
7. Nelson W. — Seaplane design. — NY. and L., Mc. Graw-Hill, 1934, 274 p.
8. Gouge A. — Flying-boats and their possible developments. — „RAS“ 1935, v. XXXIX, N. 296, p. 691—717.
9. Wood K. D. — Airplane design. — NY. College of Engineering Cornell University, 1935, 392 p.
10. Gassner A. A. — Take-off performance of flying-boats. — „Aero digest“ 1935, v. XXVII, N. 5, p. 24—25, 38, 8 ill.
11. Crocco G. A. — Problemi di idroaviazione. — „Aerotecnica“ 1933, v. XIII, N. 1—2, p. 5—38, 35 ill.
12. Lower J. H. — The transverse stability of flying-boat hulls. — „Flight“ 1930, v. XXII, N. 1118, p. 586c—586e.
13. Diehl W. — Engineering aerodynamics. — NY. Ronald Press Co., 1928, 288 p. 155 ill.
14. Hunsaker. — J. Inst. aeron. eng. 1927, Sept.
15. Косоуров К. Ф. — Курс гидроавиации. — Л.-М. 1937 498 стр.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБВОДОВ КОРПУСОВ ГИДРОСАМОЛЕТОВ

Основными гидродинамическими характеристиками гидросамолетов, определяющими вместе с аэродинамическими характеристиками время

и длину разбега его при взлете, являются гидродинамическое сопротивление (W) и момент диферента (M_φ), которые зависят от:

- а) обводов подводной части корпуса,
- б) положения корпуса относительно уровня воды (φ, z),
- в) нагрузки на воду (Δ)
- и г) скорости (V).

Определение W и M_φ производится экспериментально, путем буксировочных испытаний моделей лодок или поплавков в опытовых бассейнах. Методика таких испытаний заключается в буксировке моделей на различных постоянных скоростях (V) с нагрузками на воду (Δ), изменяющимися при типовом испытании в зависимости от скорости (в некоторых случаях учитываются также вертикальная составляющая от тяги винтов и углы диферента):

$$\Delta = \Delta_0 \left[1 - \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 \right],$$

где Δ_0 — начальная нагрузка на воду, соответствующая полетному весу гидросамолета,

V_0 — скорость отрыва модели.

Результаты таких испытаний представляются в виде кривых:

а) гидродинамического сопротивления ($W = W(V)$), углов диферента ($\varphi = \varphi(V)$) и всплытия центра тяжести ($z = z(V)$) — по скорости (V) при моменте $M_\varphi = 0$ (фиг. 64);

б) гидродинамического сопротивления ($W = W(\varphi)$), моментов диферента ($M_\varphi = M_\varphi(\varphi)$), и всплытия ц. т. ($z = z(\varphi)$) по углам диферента (φ) для характерных скоростей (V) при постоянных нагрузках на воду ($\Delta = \Delta(V)$), соответствующих этим скоростям (фиг. 65).

Атлас моделей гидросамолетов и их гидродинамических характеристик дан на стр. 121—194.

$M_\varphi = 0$ (фиг. 64).

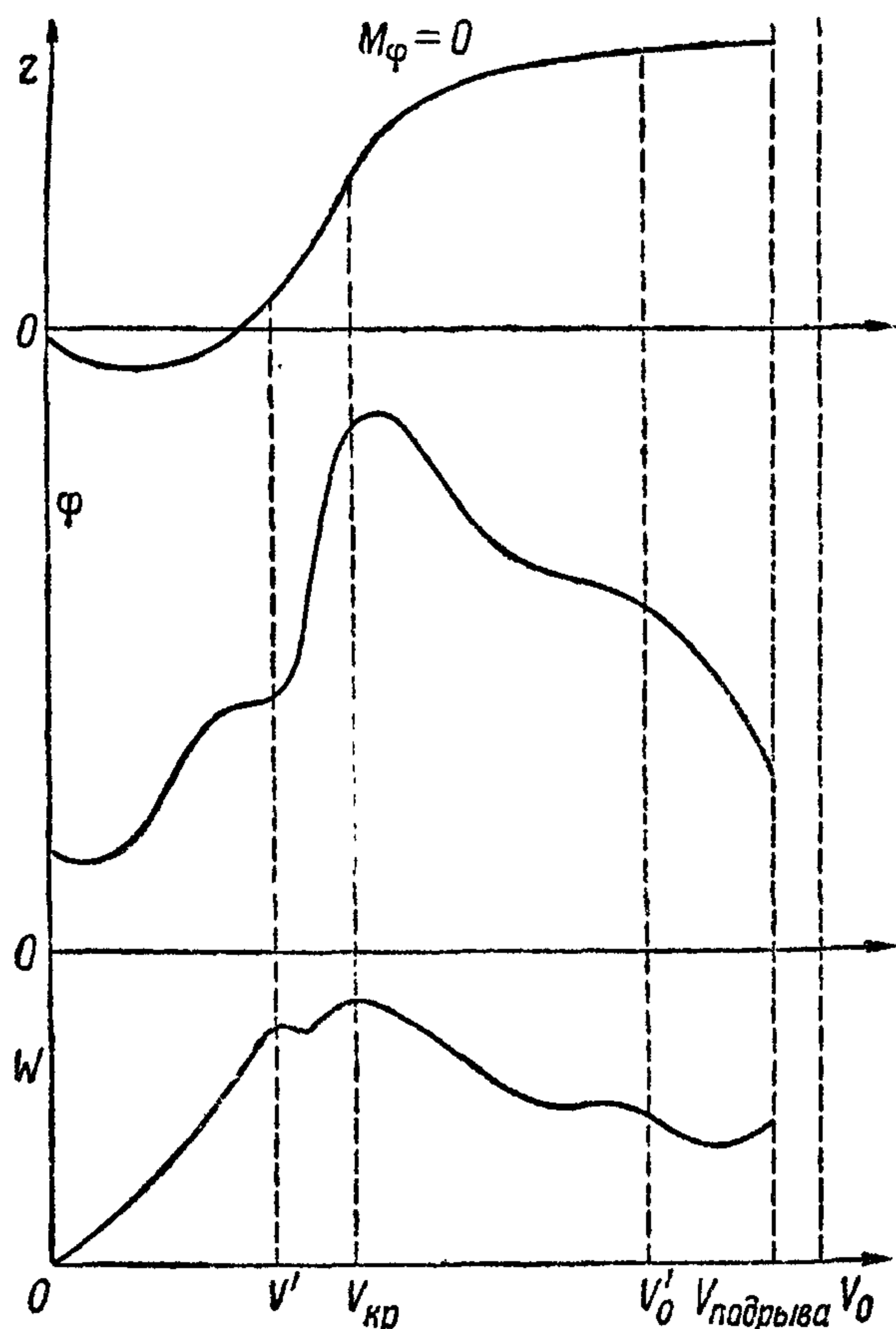
Гидродинамическое сопротивление модели изменяется в соответствии с ориентировкой ее (φ, z) от $W = 0$ при $V = 0$ до $W = 0$ при $V = V_0$, имея в указанном интервале скоростей три характерных максимума:

а) пик сопротивления (наблюдается не всегда) — на скорости $V = V'$, возникновение которого иногда объясняется создаваемым первым реданом разрежением в области межреданной части; соединение этой области с атмосферой приводит к уничтожению пика сопротивления;

б) горб сопротивления — на скорости $V = V_{кр} \approx 0,3 - 0,4 V_0$;

в) максимум сопротивления на предвзлетной скорости, возникающий вследствие прогрессивного увеличения сопротивления трения (наблюдается в виде максимума редко).

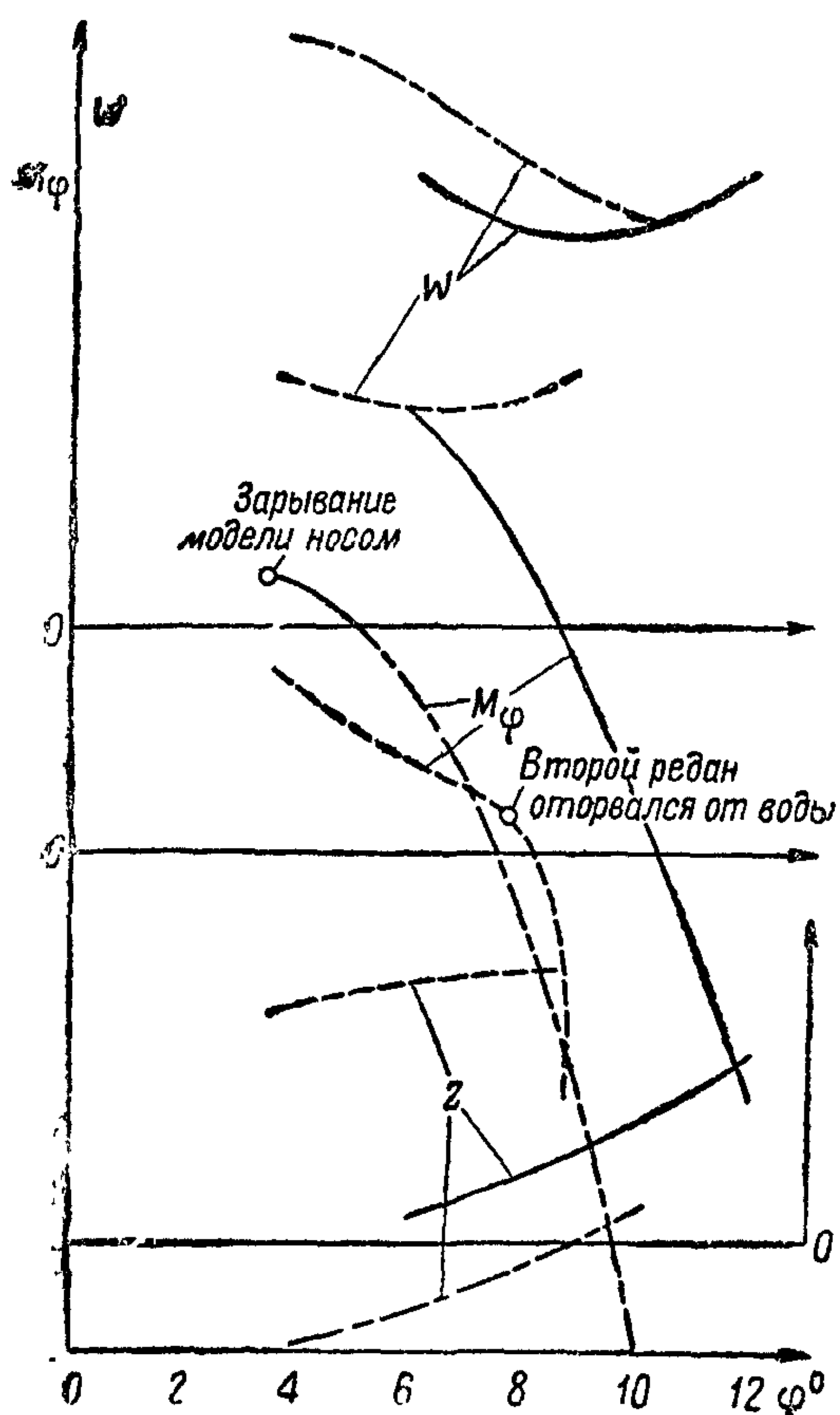
Кроме указанных максимумов кривая сопротивления может иметь максимум при глиссировании модели на одном первом редане, вызываемый замыванием межреданной части днища струями воды, срывающимися с первого редана.



Фиг. 64



Угол диферента имеет максимальное значение на скорости, совпадающей с $V_{кр}$ или несколько большей. Для кривой углов φ характерно некоторое понижение на малых скоростях и замедление роста значений φ на скорости, близкой к скорости пика сопротивления. Течение кривой при $V > V_{кр}$ определяется эффективностью второго редана, момент отрыва которого от воды характеризуется заметным уменьшением углов диферента.



Фиг. 65. Кривые, проведенные сплошной линией, соответствуют случаю скорости горба сопротивления ($V_{кр} = \text{const}$); кривые, проведенные пунктиром с точкой, соответствуют скорости пика сопротивления ($V = \text{const}$), а проведенные пунктиром — скорости чистого глиссирования

Всплывание центра тяжести модели на малых скоростях имеет отрицательное значение. По мере увеличения скорости до начала глиссирования всплывание быстро возрастает. На режиме глиссирования изменение всплывания центра тяжести незначительно.

$M_{\varphi} \neq 0$ (фиг. 65).

Гидродинамическое сопротивление достигает минимума при некотором значении угла диферента, называемом „наивыгоднейшим углом диферента“. На скоростях $V > V_{кр}$ наивыгоднейший угол диферента модели лодки или поплавка близок к наивыгоднейшему углу диферента изолированного профиля.

Моменты диферента с увеличением углов диферента уменьшаются (положительным моментом принимается момент на корму). Характер течения кривых моментов связан с ориентировкой модели относительно уровня воды. По абсолютной величине наибольшие моменты диферента имеют место на скорости $V = V_{кр}$. При скоростях, соответствующих „пику сопротивления“, моменты, при которых модель зарывается носом, имеют наименьшее значение; поэтому эти скорости с этой точки зрения являются наиболее опасными.

Всплывание ц. т. возрастает с увеличением углов диферента.

В целях более удобного сравнения гидродинамических характеристик различных корпусов пользуются безразмерными коэффициентами, в которых за характерный линейный размер принимается ширина (B) корпуса в сечении по главному редану или миделю:

$$c_{\Delta} = \frac{\Delta}{\gamma B^3} \quad (\text{коэффициент нагрузки}),$$

$$c_W = \frac{W}{\gamma B^3} \quad (\text{коэффициент сопротивления}),$$

$$c_M = \frac{M}{\gamma B^4} \quad (\text{коэффициент момента}),$$

$$c_V = \frac{V}{\sqrt{gB}} \quad (\text{коэффициент скорости}).$$

Наиболее важной безразмерной величиной, служащей для оценки корпуса гидросамолета, с точки зрения сопротивления движению, является

гидродинамическое качество (K):

$$K = \frac{\Delta}{W}$$

или величина (ϵ), ему обратная:

$$\epsilon = \frac{W}{\Delta}.$$

Минимальная величина гидродинамического качества (K_{\min}), соответствующая критической скорости ($V_{\text{кр}}$) обычно имеет решающее значение для отрыва гидросамолета от воды при данном полетном весе и тяге винтомоторной группы. Не менее важным является значение K на предвзлетных скоростях, вследствие возрастания суммарного аэрогидродинамического сопротивления гидросамолета.

Процесс разбега гидросамолета

Процесс разбега гидросамолета условно может быть разделен на следующие четыре характерных режима (фиг. 66):

I режим. Плавание; $V = (0 - 0,25) V_0$. Поведение гидросамолета на этом режиме с точки зрения характера обтекания водой лодки или поплавков уподобляется водоизмещающему судну. Наличие резких уступов (реданы, скулы) у корпусов гидросамолетов вызывает относительно большее гидродинамическое сопротивление. Влияние этого обстоятельства на старт гидросамолета невелико вследствие большого избытка тяги на этом режиме. Примерно в середине режима наступает срыв воды с редана и образование за ним небольшой впадины.

Для этих скоростей характерно:

а) интенсивное возрастание кривой сопротивления по скорости,

б) относительно небольшое изменение углов дифферента и всплывания центра тяжести,

в) возможность понижения поперечной остойчивости в ходу

в узкой зоне скоростей, по сравнению со статической остойчивостью,

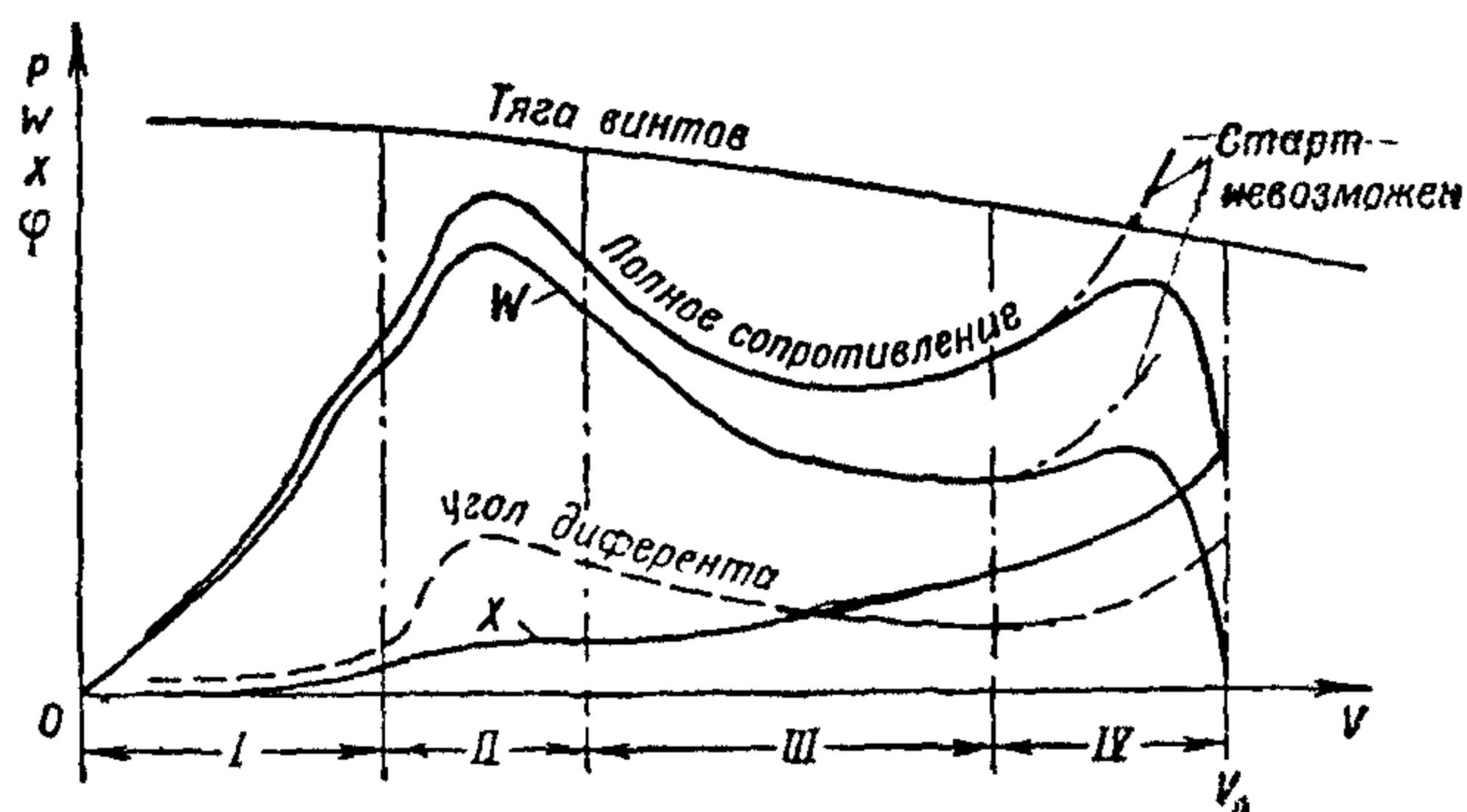
г) возможность возникновения рысканья, особенно в случае заостренного в плане второго редана,

д) возможность заливания носа струями воды при больших моментах дифферента на нос, особенно для больших c_{Δ} (в данном случае существенное значение имеет форма образования форштевня и волнореза),

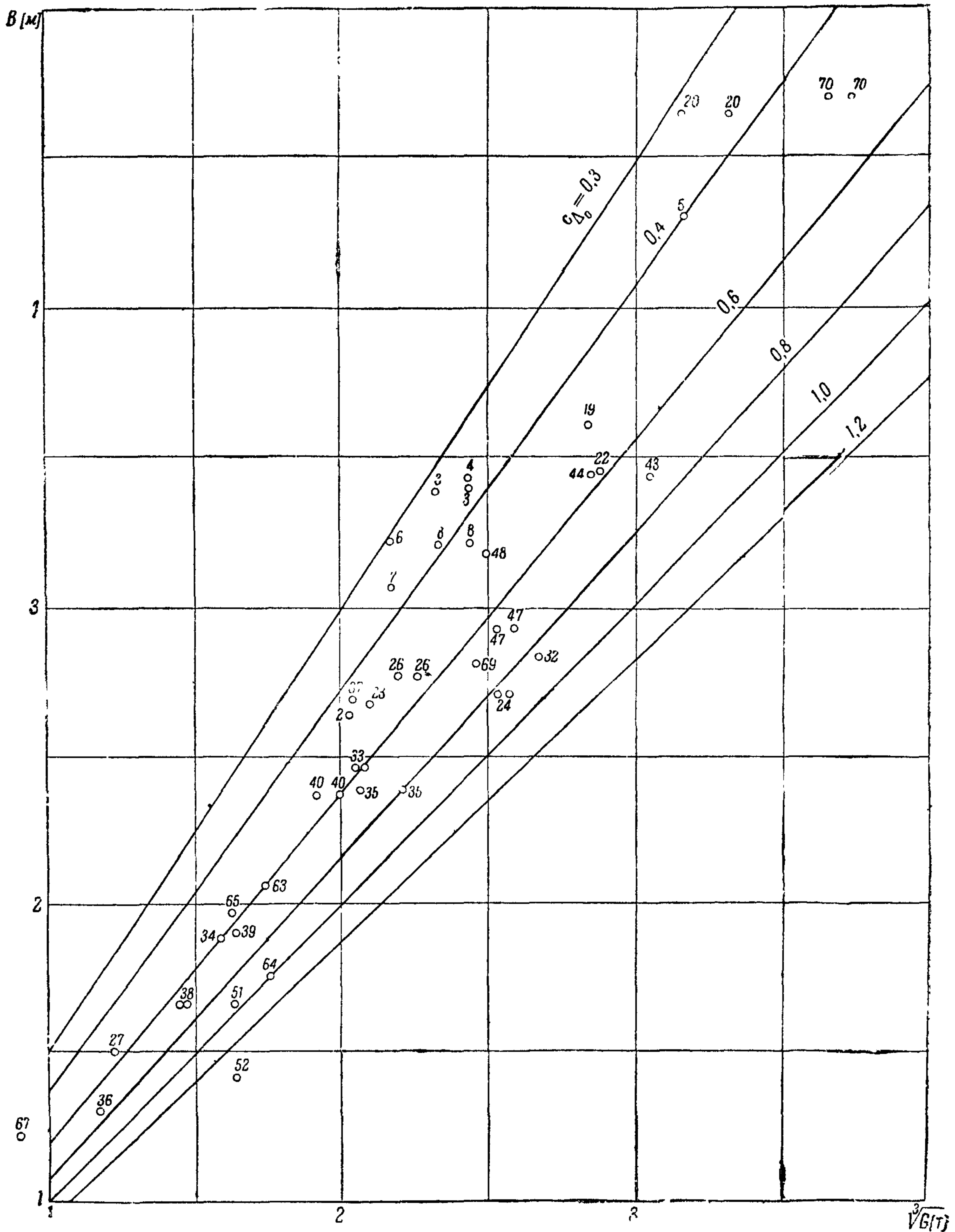
е) малое значение аэродинамических факторов.

II режим. Выход на редан (переходный режим от плавания к глиссированию); $V = (0,25 - 0,5) V_0$. Борты корпуса совершенно освобождаются от воды. Увеличение впадины за первым реданом приводит к значительному возрастанию углов дифферента и, вследствие этого, к резкому всплыванию. Этот режим включает в себя максимальные значения гидродинамического сопротивления и углов дифферента на скорости $V \approx 0,3 - 0,4 V_0$. Значение аэродинамических факторов относительно невелико.

III режим. Глиссирование; $V = (0,5 - 0,8) V_0$. Кривая углов дифферента падает. Изменение всплывания незначительное. Гидродинамическое сопротивление уменьшается. Значение аэродинамических факторов прогрессивно возрастает. На скоростях, близких к отрыву второго редана, воз-



Фиг. 66



Фиг. 67. Диаграмма $B = f(G)$ для современных летающих лодок. Цифры у точек показывают порядковый в таблице XI номер летающей лодки, к которой относится точка

можно возникновение продольных колебаний, особенно при перегрузках гидросамолета.

IV режим. Предвзлетный; $V = (0,8 - 1,0) V_0$. Условное отличие этого режима от предыдущего заключается в возможности значительного заливания межреданной части днища брызговой струей от первого редана. Происходящее вследствие этого, а также вследствие прогрессивного по скорости возрастания сопротивления трения, увеличение гидродинамического сопротивления, в некоторых случаях, вместе с аэродинамическим сопротивлением может сделать невозможным взлет гидросамолета (фиг. 66).

Влияние основных геометрических параметров корпуса на его гидродинамические характеристики

Ширина корпуса

Ширина лодки (или поплавок) является основным линейным параметром корпуса, по отношению к которому принято оценивать остальные размеры его.

Влияние изменения ширины корпуса на величину гидродинамического качества (K) для различных режимов неодинаково:

а) на критической скорости увеличение ширины приводит обычно к повышению качества;

б) на режиме глиссирования обычно имеется определенное (для данного типа обводов) значение нагрузки (c_{Δ}), которому соответствует наибольшая величина качества;

в) на предвзлетном режиме увеличение ширины корпуса приводит к повышению сопротивления.

Увеличение ширины корпуса приводит к менее интенсивному образованию расходящихся брызговых струй у первого редана. Увеличение ширины связано с повышением веса конструкции и аэродинамического сопротивления гидросамолета.

При определении ширины корпуса вновь проектируемого гидросамолета, с одной стороны необходимо удовлетворять требованиям в отношении наилучшего размещения экипажа, пассажиров и оборудования, а с другой — обеспечить достаточно высокие летные и мореходные качества его.

Значения ширины лодок для современных летающих лодок в зависимости от веса представлены на фиг. 67 (см. табл. XI).

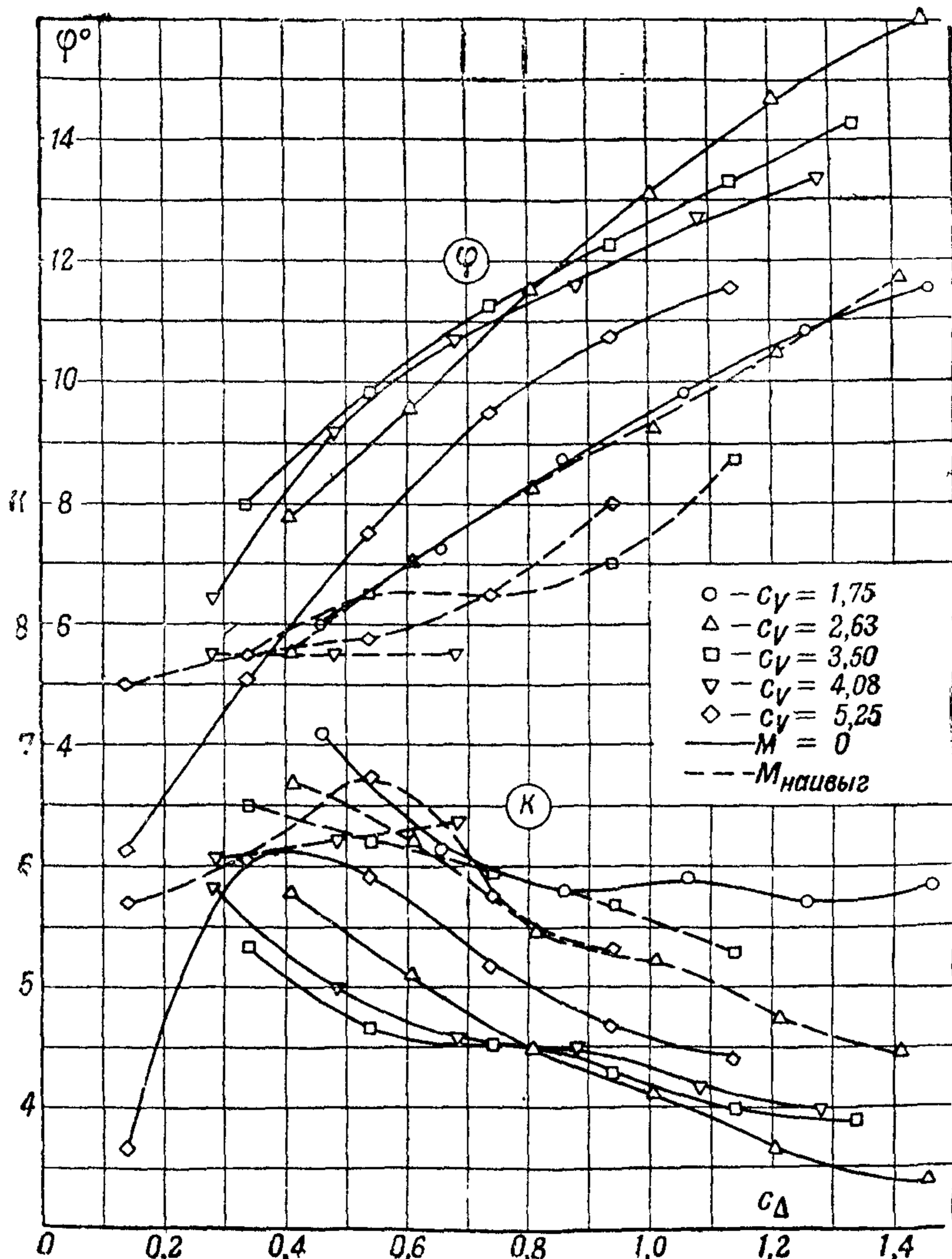
Для грубой прикидки ширины могут быть использованы следующие значения c_{Δ_0} :

а) для летающих лодок $c_{\Delta_0} = 0,6 - 1,2$,

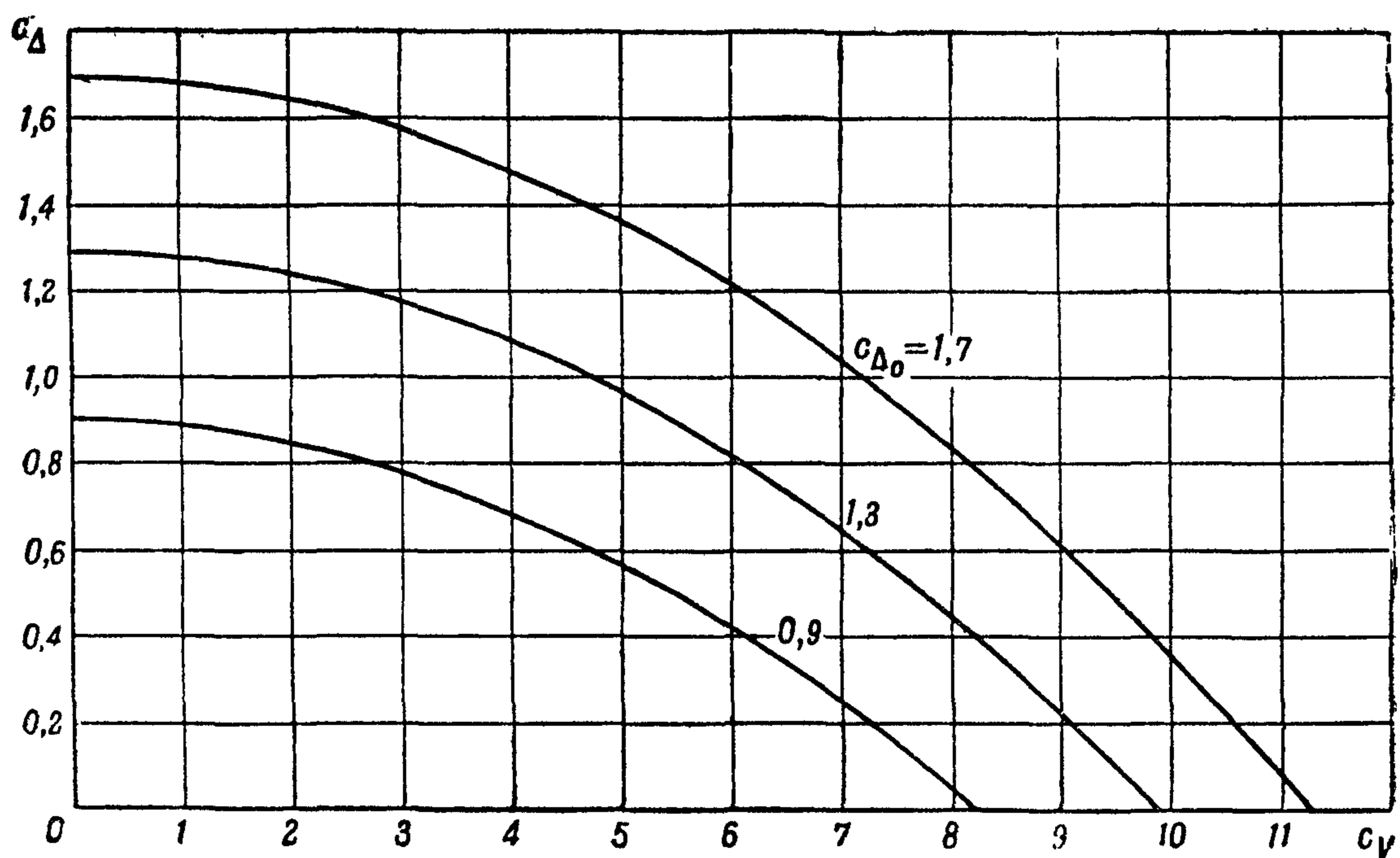
б) для однопоплавковых гидросамолетов $c_{\Delta_0} = 1,2 - 1,7$,

в) для двухпоплавковых гидросамолетов $c_{\Delta_0} = 1,7 - 1,9$.

При использовании результатов буксировочных испытаний моделей ширина корпуса проверяется по величине $K = K(c_{\Delta})$ для различных значений c_V , так как для сходственных обводов фактором, определяющим гидродинамическое качество, является коэффициент нагрузки (c_{Δ}). Характерные кривые $K = K(c_{\Delta})$ и $\varphi = \varphi(c_{\Delta})$ для различных коэффициентов скорости (c_V) представлены на фиг. 68. На фиг. 69 даны кривые изменения c_{Δ} по c_V .



Фиг. 68



Фиг. 69

Длина корпуса

Полная длина $L=L_v+L_m+L_h$ корпуса летающей лодки выбирается главным образом из соображений устойчивости в полете. Длина (L_v+L_m) корпуса определяется длинами носовой (L_v) и межреданной части (L_m) и в среднем может быть оценена (фиг. 70, таблицы XI и XII) так:

а) для летающих лодок:

$$L_v + L_m = (4,0 - 6,5) B,$$

в) для поплавков двухпоплавкового гидросамолета:

$$L_v + L_m = (6,0 - 8,25) B,$$

с) для поплавков однопоплавкового гидросамолета:

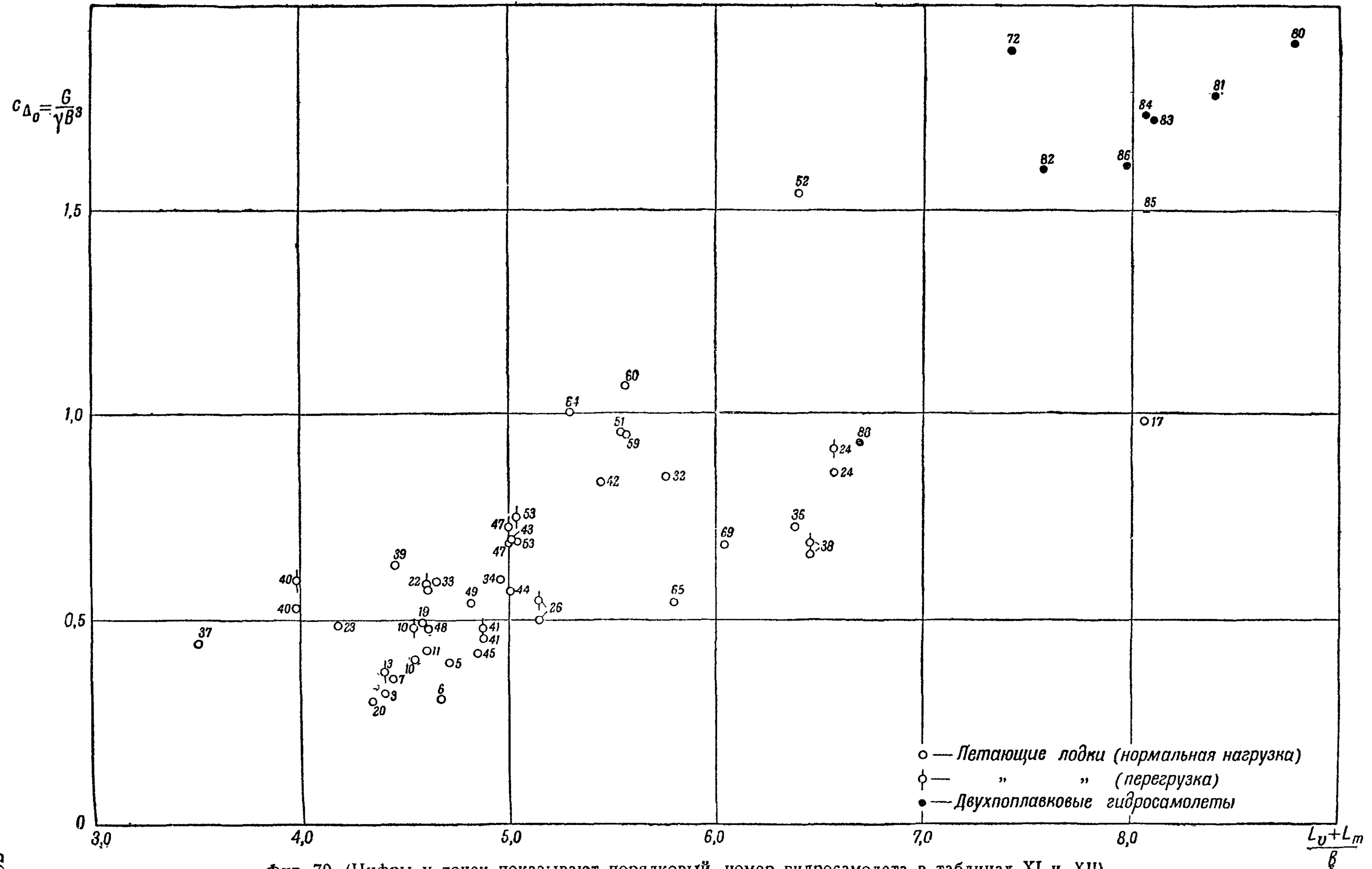
$$L_v + L_m = (5,5 - 7,0) B.$$

Длины (L_v+L_m) корпусов современных летающих лодок представлены на фиг. 71.

Длина (и объем) носовой части должна обеспечить гидросамолету продольную остойчивость, предотвратить тенденцию к зарыванию носом на режиме плавания и уравновесить возникающий при рулежке момент от тяги винта.

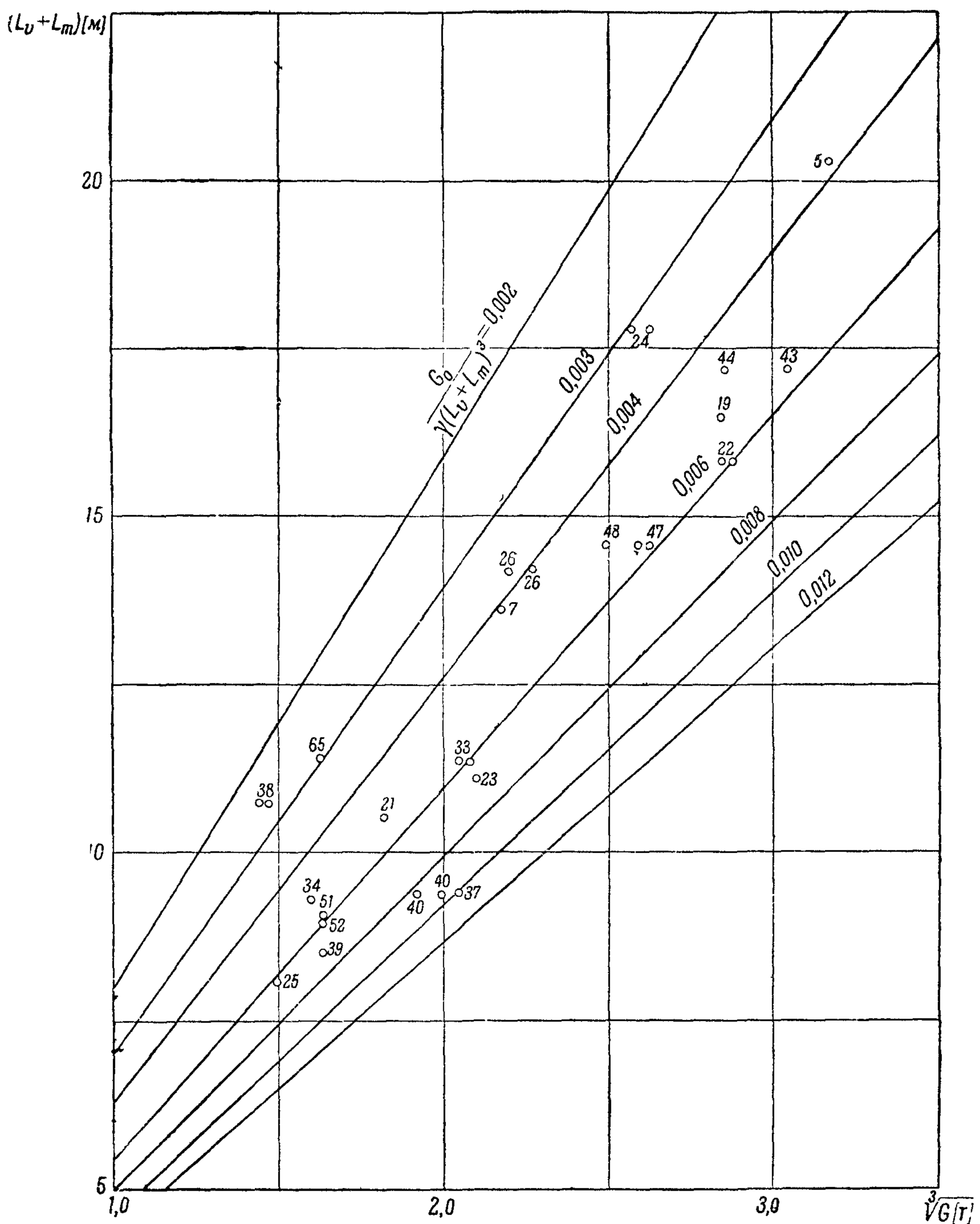
Увеличение длины носовой части повышает угол начального дифферента и снижает пик сопротивления. Увеличению нагрузки на редан (большие c_{Δ_0}) должно сопутствовать увеличение длины носовой части, чтобы избежать опасности зарывания носом и затопления палубы при разбеге.

Для длины носовой части (фиг. 72, табл. XI, XII) летающих лодок обычно придерживаются соотношения $L_v = (2,3 - 3,5) B$. Гоудж²⁴ рекомендует выбирать величины $L_v = 2,75 B$ и Мунро¹ $L_v = 2,5 B$. Для поплавков обычно придерживаются соотношения $L_v = (3,5 - 5) B$.



Фиг. 70. (Цифры у точек показывают порядковый номер гидросамолета в таблицах XI и XII)

Расстояние между реданами L_m выбирается, исходя из стабилизирующего назначения второго редана при разбеге и в зависимости от типа последнего. Более длинной носовой частью корпуса должна соответствовать большая длина межреданной, чтобы моментом от второго редана

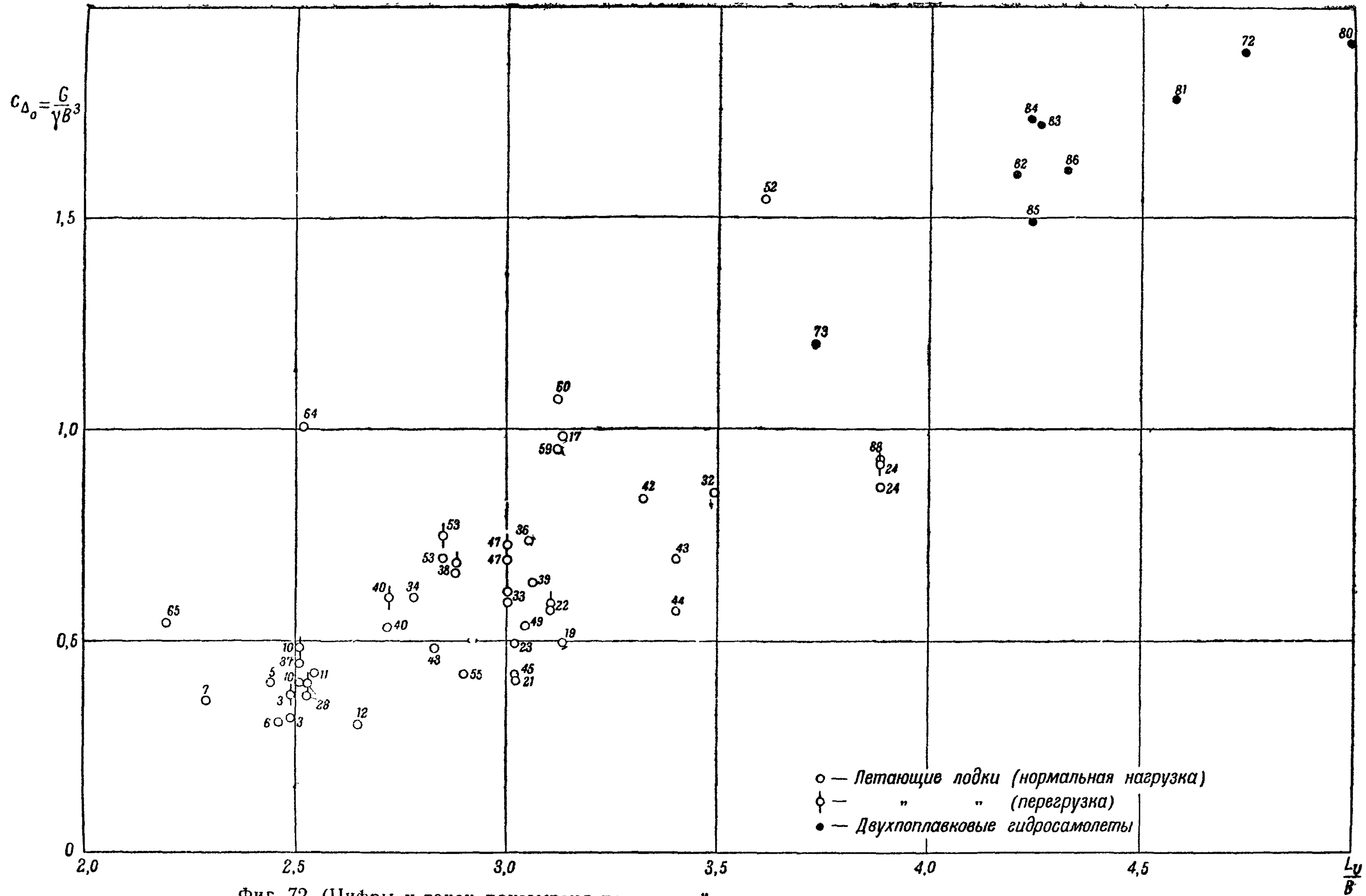


Фиг. 71. (Цифры у точек показывают порядковый номер летающей лодки в таблице XI)

приблизить углы диферента в диапазоне критической скорости и глиссирования к наивыгоднейшим.

Применяющиеся в практике длины межреданной части (фиг. 73; таблица XI) летающих лодок: $L_m = (1,50—2,75) B$. Для поплавков двухпоплавкового гидросамолета длина L_m принимается равной $(2,5—4,0) B$.

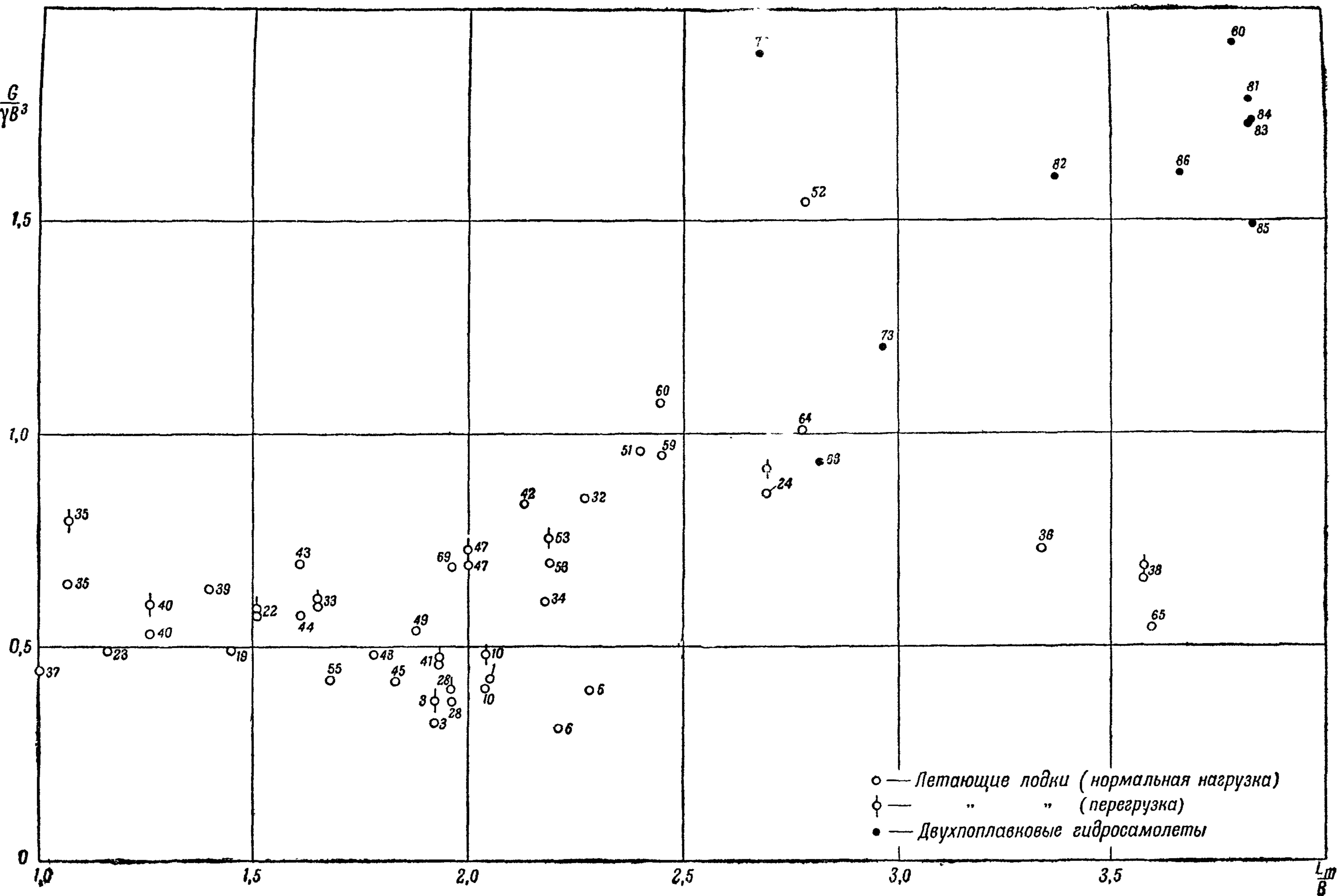
На фиг. 74 приведено изменение основных размеров корпуса летающей лодки в зависимости от полетного веса, согласно Мунро.¹



Фиг. 72. (Цифры у точек показывают порядковый номер гидросамолета в таблицах XI и XII).

82

$$c_{\Delta_0} = \frac{G}{\gamma B^3}$$



Фиг. 73. (Цифры у точек показывают порядковый номер гидросамолета в таблицах XI и XII)



Таблица XI

Летающие лодки (фиг. 70, 72, 73)

№ по пор.	Название гидросамолета	G [кг]	B [м]	$c_{\Delta_0} = \frac{G}{\gamma B^3}$	$\frac{L_{\sigma} + L_m}{B}$	$\frac{L_{\sigma}}{B}$	$\frac{L_m}{B}$	$\frac{x_T}{B} [\%]$	$\frac{z_T}{B} [\%]$
Англия									
1	Short „Canopus“	18700	3,05	0,661	5,8	3,45	2,35	—	—
2	„ R 24/31	8390	2,63	0,461	—	—	—	—	—
3	„ Singapore III“	{ 12400 14300	3,38	{ 0,321 0,370	4,41	2,49	1,92	—	—
4	„ Scipio“	14500	3,43	0,360	4,65	2,33	2,32	—	—
5	„ Sarafand“ (R6/28)	31700	4,30	0,398	4,72	2,44	2,28	6,22	—
6	„ Rangoon“	10200	3,21	0,309	4,68	2,46	2,21	—	—
7	„ Calcutta“	10200	3,05	0,359	4,45	2,29	2,16	—	—
8	„ Singapore II“	{ 12600 14500	3,20	{ 0,386 0,444	4,41	2,26	2,18	7,06	102
9	Breguet „Bizerte“ (на лодке Шорт)	{ 13500 15000	3,50	{ 0,315 0,350	4,25	2,22	2,04	10,7	106
10	Blackburn „Perth“	{ 14700 17200	3,32	{ 0,401 0,483	4,56	2,51	2,04	15,1	—
11	„ Sidney“	11300	2,98	0,426	4,61	2,55	2,05	0	—
12	„ Nile“	8000	2,95	0,315	4,64	2,62	2,02	—	—
13	Supermarine „Seagull“	—	1,54	—	6,76	2,94	3,82	—	—
14	„ Scapa“	7060	2,4	0,511	5,08	2,80	2,28	—	—
15	„ Southampton“	6635	—	—	—	—	—	—	—
16	Saro (Saunders Roc) „Cloud“	4310	2,21	0,401	4,88	2,58	2,31	—	—
17	Saro „Cutty sark“ (амфибия)	1780	1,22	0,98	8,06	3,13	4,93	—	—
Франция									
18	Latécoère 582	{ 11300 12000	2,7	{ 0,575 0,75	3,91	2,8	1,11	—	—
19	„ 302	22900	3,60	0,491	4,58	3,13	1,45	—	—
20	„ 521	{ 31500 37000	4,65	{ 0,314 0,369	4,31	2,99	1,32	—	—
21	„ 50—1	6050	2,5	0,387	4,26	3,02	1,24	—	—
22	„ 300	{ 23300 23900	3,44	{ 0,571 0,585	4,61	3,10	1,51	—	—
23	„ 38—1	9250	2,66	0,489	4,18	3,02	1,16	—	—
24	Loire 102	{ 17000 18100	2,70	{ 0,867 0,917	6,58	3,88	2,70	28,9	117,0
25	„ 130	3300	1,8	0,567	4,5	2,78	1,72	—	—
26	„ 70	{ 10500 11500	2,76	{ 0,500 0,548	5,15	2,9	2,25	—	—
27	„ 50 (амфибия)	1770	1,49	0,536	—	—	—	—	—
28	Breguet „Saigon 530“	{ 14000 15000	3,35	{ 0,372 0,398	4,49	2,53	1,96	—	—
29	„ Bizerte 521“	{ 13500 15000	3,30	{ 0,375 0,416	4,51	2,51	2,00	90,9 113,0	112,0
30	Loire-et-Olivier (LeO) H—47	17900	2,7	0,909	4,67	3,22	1,44	—	—
31	Loire-et-Olivier (LeO) H—42	14000	—	—	—	—	—	—	—
32	Loire-et-Olivier (LeO) H—27	19000	2,82	0,848	5,76	3,49	2,27	—	—
33	Loire-et-Olivier (LeO) H—242	{ 8700 9000	2,45	{ 0,592 0,611	4,65	3,00	1,65	—	—

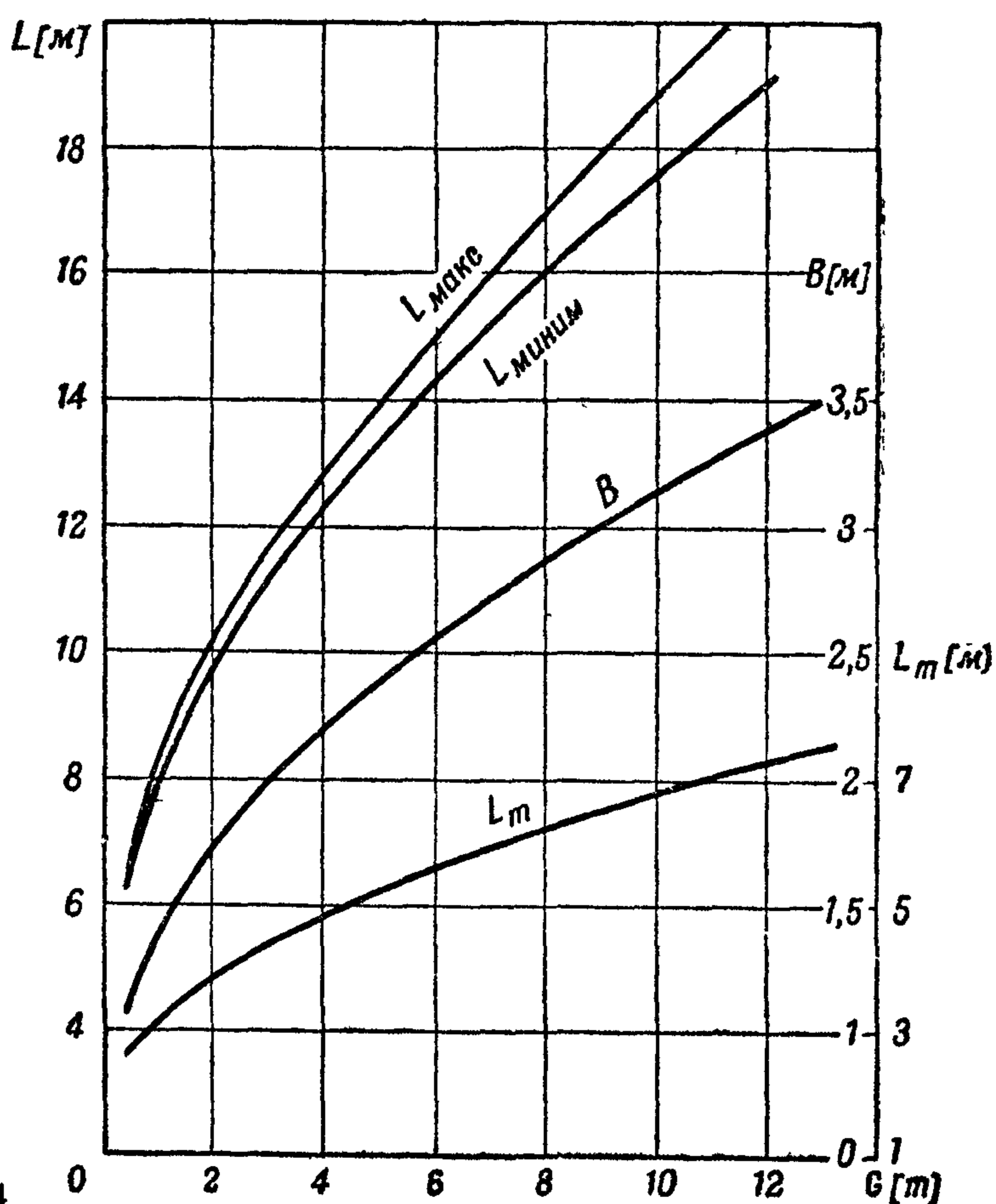
Продолжение табл. XI

№ по пор.	Название гидросамолета	G [кг]	B [м]	$c_{A_0} = \frac{G}{\gamma B^3}$	$\frac{L_v + L_m}{B}$	$\frac{L_v}{B}$	$\frac{L_m}{B}$	$\frac{x_T}{B} [\%]$	$\frac{z_T}{B} [\%]$
34	Lioré-et-Olivier (LeO) H-232 (амфибия) . . .	4000	1,88	0,602	4,96	2,78	2,18	—	—
35	C. A. M. S. 110	10700 8750	2,38	0,794 0,648	4,16	3,1	1,06	—	—
36	" 90	1600	1,30	0,73	6,39	3,05	3,34	—	—
37	" 58 ²	8560	2,68	0,444	3,51	2,51	1,00	—	—
38	" 37 ²	3 000 3120	1,66	0,656 0,684	6,46	2,88	3,58	—	—
39	" 80 (амфибия)	4340	1,90	0,635	4,46	3,06	1,40	—	—
40	C. A. M. S. 55-3	7000 7900	2,36	0,53 0,598	3,98	2,72	1,26	—	—
41	Blériot-5190	22000 23000	3,64	0,456 0,477	4,83	2,9	1,93	—	—
42	Potez-452	1500	1,22	0,83	5,46	3,33	2,13	—	—
США									
43	Martin-156	28100	3,43	0,696	5,01	3,40	1,61	—	—
44	" 130	23100	3,43	0,571	5,01	3,40	1,61	64,2	74,0
45	P ₃ M-1 (модель 1/6 н.в.)	33,6	0,43	0,420	4,85	3,02	1,83	50,3	81,7
46	Sikorsky S-43	7940	2,29	0,661	4,97	2,83	2,14	32,5	—
47	" S-42-A	17200 18100	2,92	0,690 0,726	5,0	3,0	2,0	—	—
48	" S-40	15400	3,17	0,483	4,61	2,83	1,78	19,3	—
49	Consolidated P2Y1	9080	2,57	0,534	4,92	3,04	1,88	44,4	—
50	Douglas DF	12900	3,12	0,427	4,46	2,8	1,64	—	—
51	" "Dolphin" (лодка)	4310	1,65	0,956	5,54	3,14	2,40	—	—
52	" (амфибия)	4310	1,41	1,54	6,40	3,61	2,79	27,2	—
53	Fairchild A-942 (амфибия)	4410 4770	1,85	0,694 0,752	5,04	2,85	2,19	47,8	101,4
54	Curtiss-Wright (1-A1-амфибия)	2060	1,29	0,95	5,6	3,01	2,59	—	—
55	Hall XPН-1 (модель 1/6 н. в.)	31,3	0,42	0,423	4,58	2,90	1,68	48,1	99,5
56	Hall XP2H-1	15800 15900	3,48	0,375 0,377	—	—	—	—	—
57	Модель NASA-11	—	0,43	—	4,47	2,82	1,65	36,4	119,4
58	" NASA-11A	—	0,43	—	4,47	2,82	1,65	36,4	119,4
59	" NASA-40AC	36,5	0,34	0,95	5,57	3,12	2,45	29,7	115,5
60	" N40BD	40,9	0,34	1,07	5,57	3,12	2,45	29,7	115,5
Италия									
61	Cant Z-501	5500 6780	2,25	0,483 0,595	3,84	2,38	1,46	—	—
62	Savoia Marchetti S-66	10100 10900	2,14	0,515 0,56	(д в у х л о д о ч н ы й)				
63	" S-78	5150	2,06	0,589	—	—	—	—	—
64	" S-55-X	10750	1,75	1,005	5,30	2,52	2,78	(двухлодочный)	
65	" S-62 bis	4150	1,97	0,541	5,80	2,20	3,60	—	—
Германия									
66	Dornier Do-18	9200	2,5	0,588	4,72	3,09	1,62	—	—
67	" Do-12 („Libelle“)	730	1,2	0,421	—	—	—	—	100
68	" Wal	10000	2,5	0,64	4,66	3,06	1,6	—	81,6
69	" Do-S	15000	2,8	0,682	6,05	4,09	1,96	—	—
70	" DoX-1	48000 52000 56000	4,7	0,461 0,5 0,539	—	—	—	—	91,5
71	" "Superwal"	12600 15000	3,4	0,321 0,382	—	—	—	—	70,6



Таблица XII
Поплавковые гидросамолеты (фиг. 70, 72, 73)

№ по пор.	Название гидросамолета	G [кг]	B [м]	c_{Δ_0}	$\frac{L_{\sigma} + L_m}{B}$	$\frac{L_{\sigma}}{B}$	$\frac{L_m}{B}$
США							
72	Edo 6075 (двухпоплавковый)	2900	0,915	1,89	7,42	4,74	2,68
73	Brewster (стандартные поплавки) (двухпоплавковый)	2500	1,03	1,20	6,69	3,73	2,96
74	Модель НАСА № 6 (двухпоплавковый)	—	0,178	—	8,56	4,49	4,07
75	Vought „Cossair“ V-100 (однопоплавковый)	1710	1,12	1,22	5,63	3,33	2,30
76	„ „ V-90 „ „ „	2250	1,18	1,38	5,62	3,34	2,28
77	„ „ V-80 „ „ „	2200	1,12	1,57	5,74	3,40	2,34
Англия							
78	Модель поплавка Short 4650 (двухпоплавковый)	—	0,20	—	8,23	4,26	3,97
79	S-6B (двухпоплавковый)	2760	0,813	2,57	9,0	4,67	4,33
80	Vildebeest (1) (двухпоплавковый)	3790	0,997	1,91	8,78	4,99	3,79
81	„ (2) „ „ „	3680	1,016	1,78	8,40	4,58	3,82
82	Fairy IIIF „ „ „	2860	0,964	1,6	7,57	4,20	3,37
83	Osprey „ „ „	2290	0,873	1,72	8,08	4,26	3,82
84	Nimrod „ „ „	1950	0,825	1,73	8,07	4,24	3,83
85	Tutor „ „ „	1250	0,749	1,49	8,07	4,24	3,83
86	Atlas „ „ „	2110	0,870	1,61	7,98	4,32	3,66
Франция							
87	Loire 210 (однопоплавковый)	1980	1,24	1,05	6,12	3,57	2,55
88	Leo H-34 (двухпоплавковый)	2870	1,16	0,93	6,70	3,88	2,82
89	„ 257 bis „ „ „	8000	1,58	1,02	6,9	4,12	2,78
90	„ 259 „ „ „	10000	1,74	0,953	6,44	3,85	2,59
91	Mureaux (однопоплавковый)	1050	1,01	1,03	6,07	—	—



Фиг. 74

высота корпуса

Высота лодки H не является характерным размером с точки зрения глиссирования и выбирается из других соображений.

Из соображений запаса пловучести высота лодки определяется по формуле:

$$H = \frac{V_n(1 + 0,01k)}{\delta BL},$$

где δ — коэффициент полноты всего объема корпуса.

k — запас пловучести в % (стр. 63),

V_n — водоизмещение гидросамолета.

Для поплавков скоростных гидросамолетов, в целях снижения аэродинамического сопротивления, принимают $H = (0,85—0,9) B$. Для обычных поплавков Мурро¹ рекомендует $H = (1,11—1,15) B$.

Коэффициенты полноты (объема, миделя и площади ватергичии) для корпусов различных типов гидросамолетов колеблются в следующих пределах (таблица XIII):

Таблица XIII

	$\delta = \frac{V}{BHL}$	$\beta = \frac{\mathcal{M}}{BH}$	$\alpha = \frac{\Omega}{BL}$
летающие лодки	0,4—0,5	0,6—0,9	0,7—0,85
поплавки двухпоплавкового гидросамолета	0,44—0,52	0,6—0,7	0,6—0,7

Поперечный профиль днища в сечении первого редана

При выборе профиля днища на первом редане необходимо исходить из назначения гидросамолета, условий его эксплуатации и взлетной и посадочной скорости.

Основными характеристиками профиля являются:

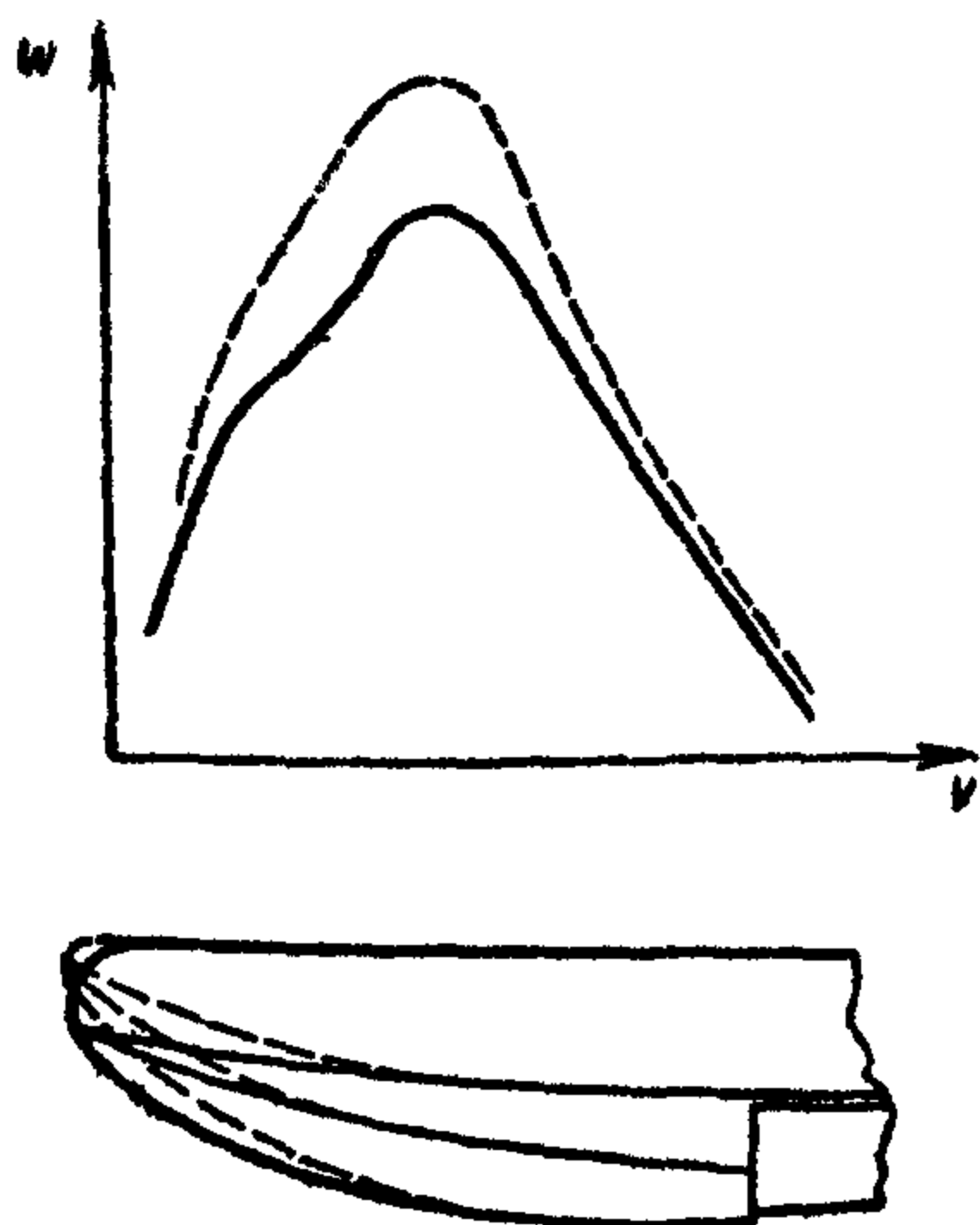
а) величина гидродинамического качества на скорости $V \geq V_{кр}$, соответствующие ему наивыгоднейшие углы диферента и потребные моменты диферента,

б) степень амортизации посадочного удара,

с) характер брызгообразования,

д) конструктивная простота форм.

Характеристики употребительных профилей с точки зрения глиссирования и посадочного удара приведены на стр. 91 и 39.



Фиг. 75

Продольный профиль носовой части
(Влияние формы батоксов)

Возможные изменения продольного профиля носовой части вблизи редана (на рабочей площадке) следующим образом влияют на гидродинамическое сопротивление:

а) криволинейность батоксов с выпуклостью, направленной вверх, как показывают опыты над продольно-изогнутыми пластинами, приводит к повышению гидродинамического качества, но вызывает неустойчивость хода на углах диферента, характерных для гидросамолета; такие формы батоксов не имеют практического применения в настоящее время;



б) криволинейность батоксов с выпуклостью, направленной вниз, увеличивает средний угол атаки днища, что приводит к увеличению сопротивления, особенно значительно на критических скоростях (фиг. 75); следует учитывать, что углы диферента летающей лодки ($\varphi = 7-9^\circ$) и в особенности двухпоплавкового гидросамолета ($\varphi = 9-12^\circ$) на критической скорости значительно превосходят углы наивыгоднейшего диферента для изолированного профиля ($\varphi = 4-6^\circ$);

с) наличие цилиндрической вставки в носовой части значительно снижает сопротивление на критической скорости и в меньшей степени на режиме глиссирования (фиг. 76); цилиндрическая вставка уменьшает предельный восстанавливающий момент, при котором модель зарывается носом (с увеличением длины цилиндрической вставки этот момент уменьшается).

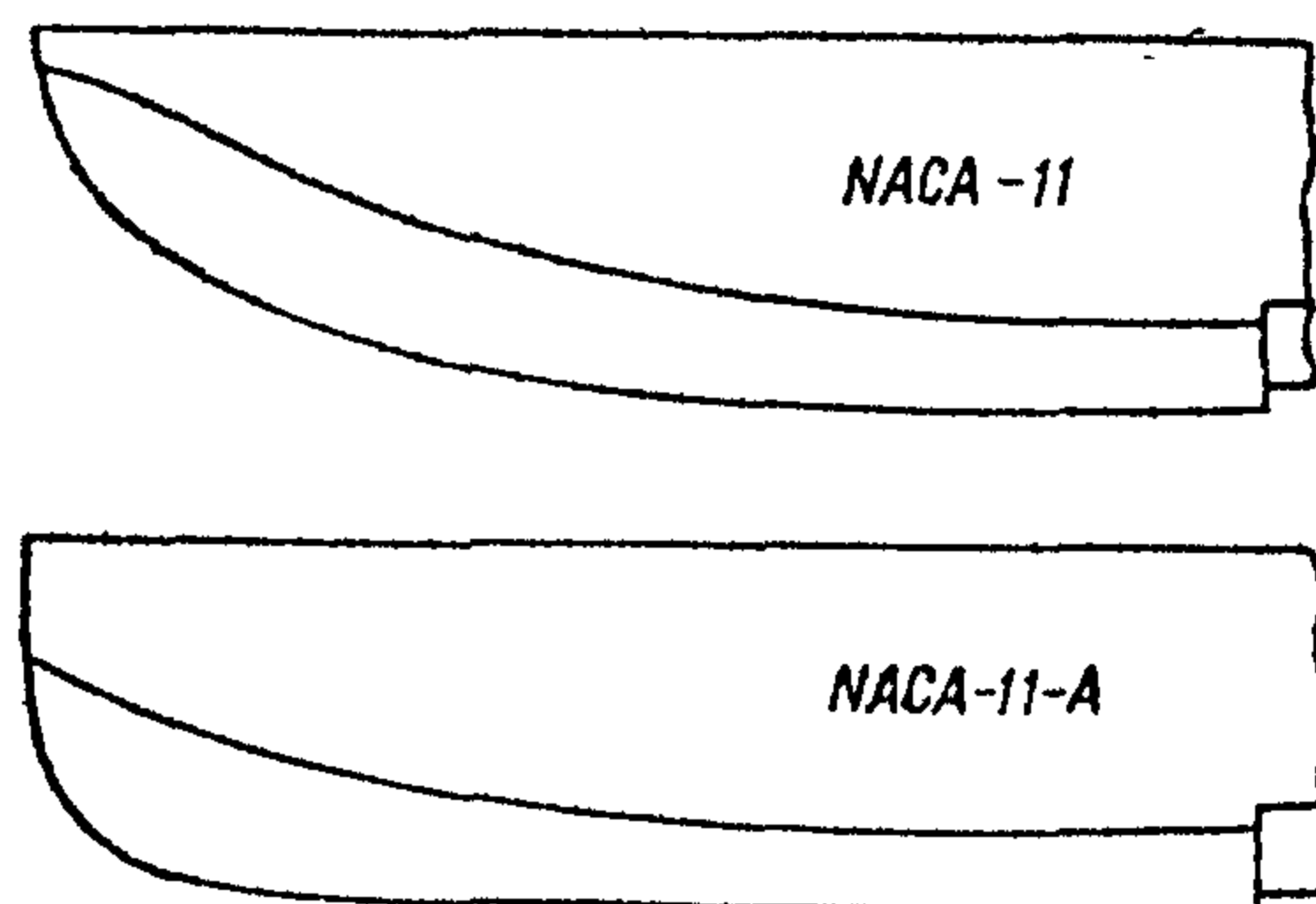
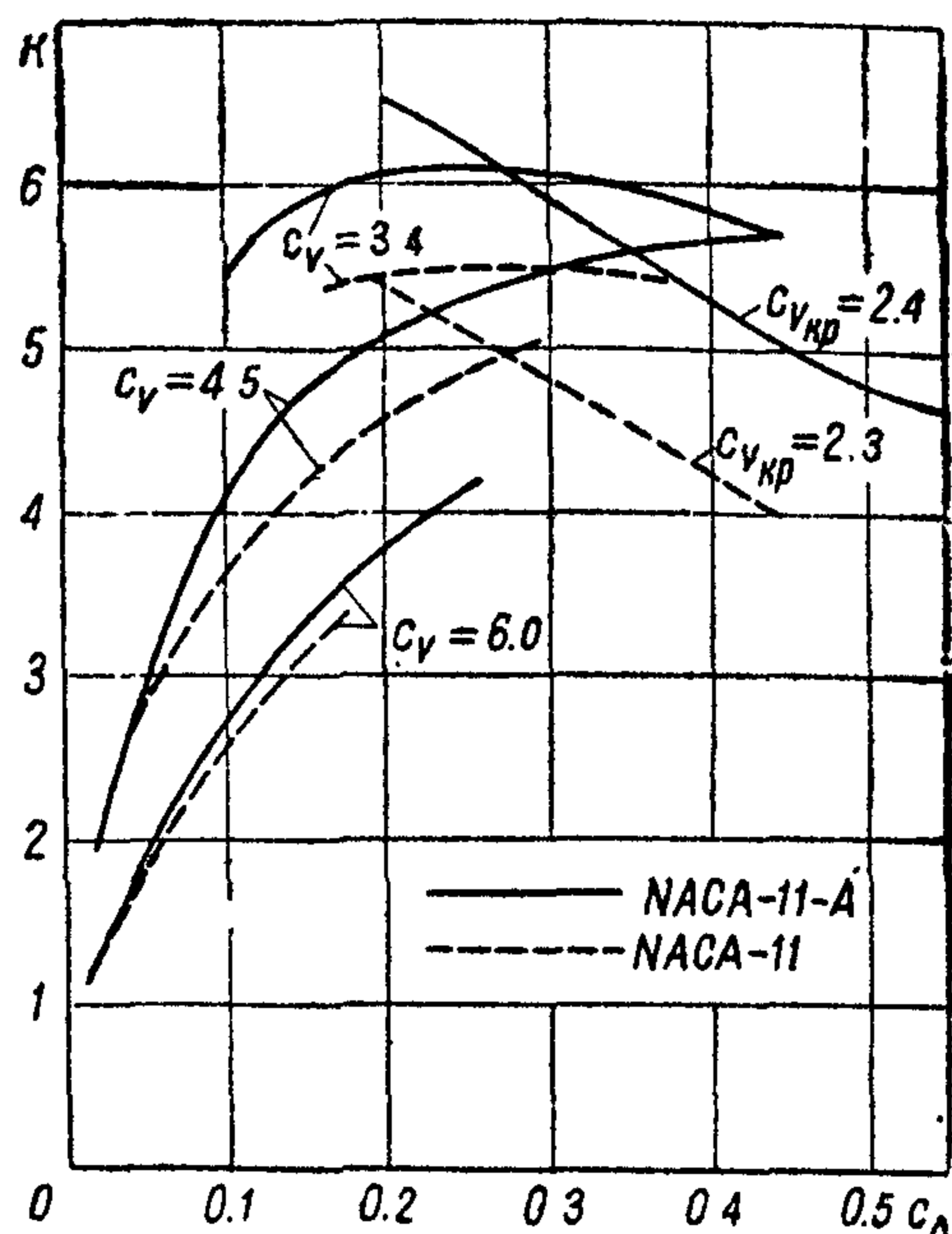
Поперечный и продольный профили рабочей площадки второго редана

Форма и положение второго редана должны обеспечить требуемый угол хода до скорости $V = (0,60-0,75) V_0$.

Форма второго редана оказывает влияние на сопротивление и может радикальным образом изменить течение углов диферента по скорости вплоть до момента, соответствующего отрыву второго редана от воды.

Тоннели у второго редана усложняют конструкцию и могут вызвать неустойчивость хода, не давая преимуществ с точки зрения гидродинамического качества.

Площадка на втором редане уменьшает углы диферента на критической скорости и отклоняет волну от кормовой части и хвостового оперения. Большая протяженность площадки по длине может вызвать неустойчивость хода.



Фиг. 76

Высота реданов и форма их в плане

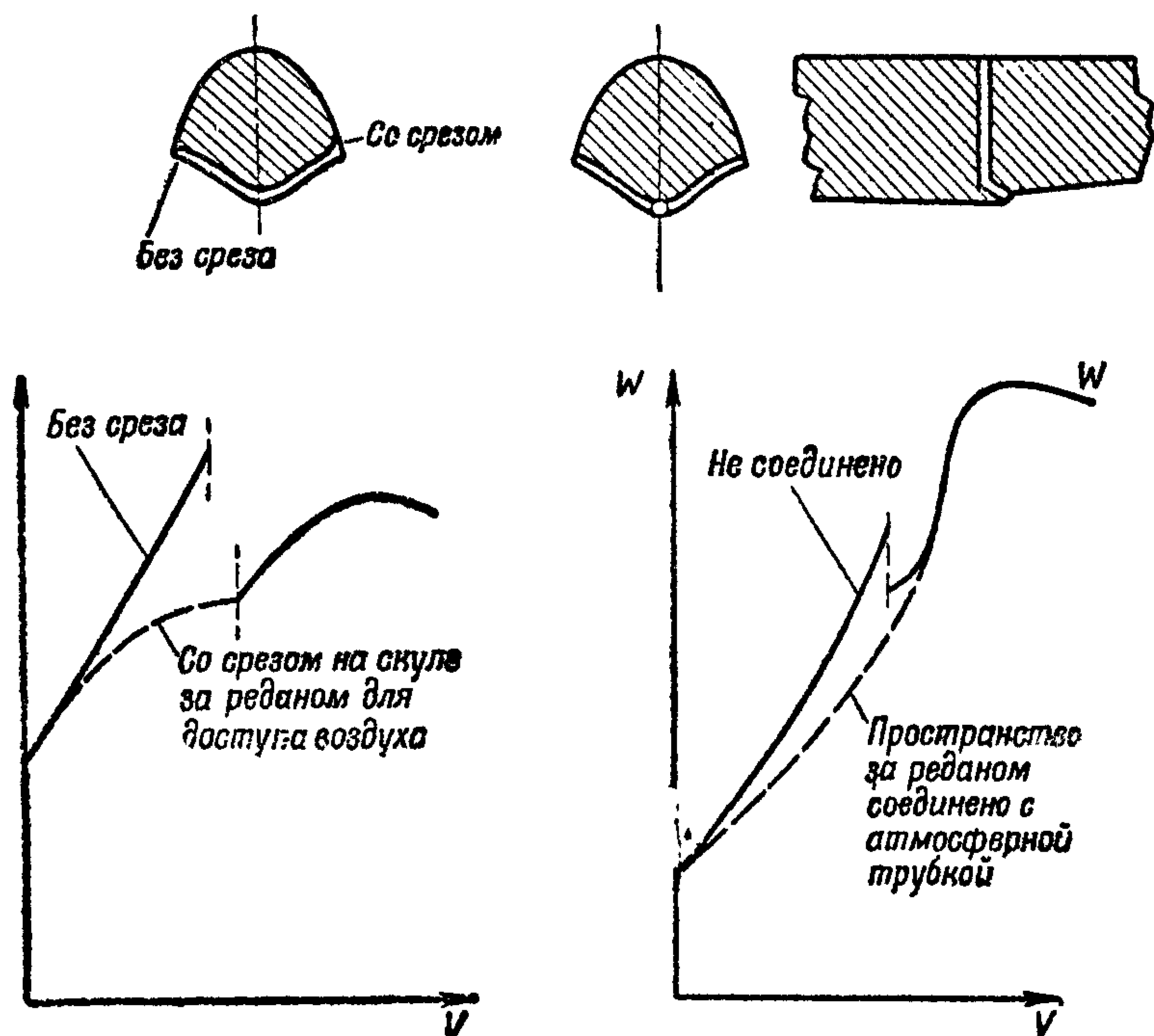
Малая высота редана дает меньшее сопротивление до критической скорости и увеличивает сопротивление при глиссировании. При недостаточной высоте редана не обеспечивается доступ под днище воздуха, что приводит к местному повышению сопротивления перед $V_{кр}$ и в некоторых случаях к разрыву кривой гидродинамического сопротивления (фиг. 77). Рекомендуется принимать высоту обоих реданов $\approx 0,03 V$, если кормовая часть лодки имеет достаточно большой угол продольной килеватости. Лодки, имеющие реданы с переменной высотой, достигающей максимума у скулы и падающей до нуля на киле, следует считать неудовлетворительными в отношении глиссирования.

Заостренная в плане форма редана дает меньшее гидродинамическое сопротивление и брызгообразование на малых c_d . На малых скоростях она может вызвать неустойчивость курса. В области критических скоростей такая форма редана вызывает активный подсос, что приводит к необходимости увеличения высоты редана и резкого подъема бортов.

Из экспериментов, проведенных с моделями летающих лодок (НАСА-35), имеющих заостренную в плане форму редана, выяснилось, что увеличение угла поперечной килеватости β от 15 до 25° оказывает лишь незначи-

тельное влияние на гидродинамическое сопротивление при $V_{кр}$ и приводит к повышению сопротивления на режиме глиссирования. Значения наивыгоднейших углов диферента при этом возрастают, а моменты, необходимые для достижения их, падают. На характер брызгообразования эти изменения оказывали лишь незначительное влияние.

Заостренная в плане форма второго редана широко применяется на американских летающих лодках, как форма, обеспечивающая меньшее гидродинамическое сопротивление, лучшее брызгообразование и большую продольную устойчивость хода, нежели поперечный редан.



Фиг. 77

Форштевень должен иметь прямолинейный участок выше скул, вертикальный или слегка наклоненный вперед. Скула должна иметь резко выраженную кромку до самого форштевня. Придание носу обтекаемой формы за счет сглаживания кромки скулы (фиг. 78) приводит к заливанию палубы. Сочетание волнореза с рабочей площадкой днища должно обеспечить плавность обводов по батоксам и ватерлиниям. В области волнореза бортам рекомендуется давать наклон во внешнюю сторону.

Междеданная часть

Для междеданной части плоско-килеватый профиль является наиболее удачным. Продольная изогнутость днища в междеданной части с максимальной стрелой прогиба в первой трети междеданного расстояния повышает гидродинамическое качество при глиссировании на больших скоростях, не допуская замывания днища струями, срывающимися с первого редана (в особенности при профиле с бортовыми накладками) (фиг. 79).

Угол продольной килеватости междеданной части (γ_1)

Величина γ_1 оказывает существенное влияние на ориентировку гидросамолета при старте, на величину гидродинамического сопротивления и на скорость отрыва от воды второго редана.

Малый угол продольной килеватости способствует уменьшению гидродинамического сопротивления на режиме критической скорости и повышает его на скоростях глиссирования. Относительное влияние изменения угла продольной килеватости на величину гидродинамического сопротивления для различных c_d и c_v непостоянно.

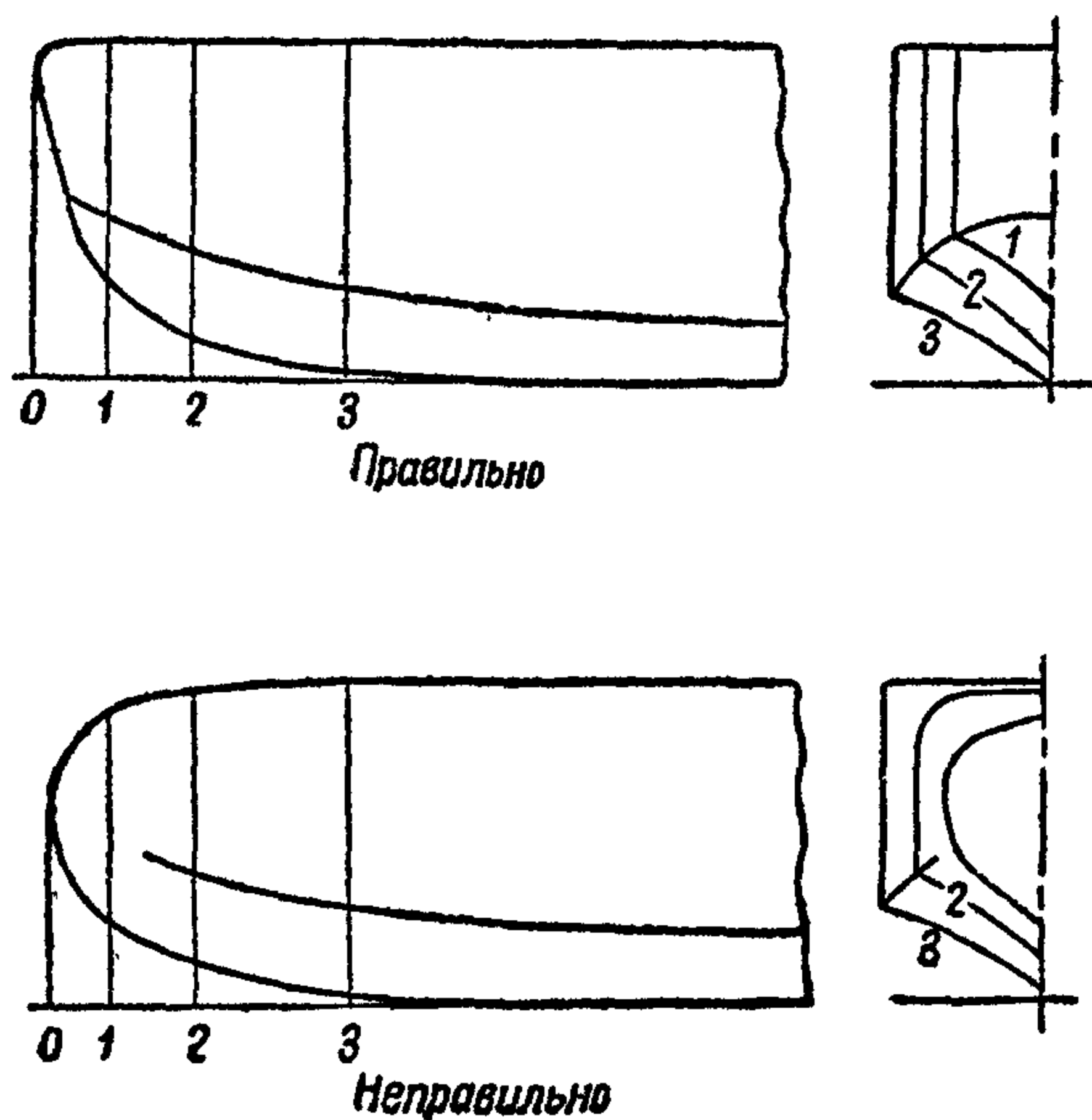
Малая величина γ_1 вызывает необходимость увеличения угла заклинения крыла, что неблагоприятно отражается на режиме максимальной скорости полета.

американских летающих лодках, как форма, обеспечивающая меньшее гидродинамическое сопротивление, лучшее брызгообразование и большую продольную устойчивость хода, нежели поперечный редан. Неустойчивость курса и связанные с этим поперечные колебания проявляются в большей степени при заостренном втором редане.

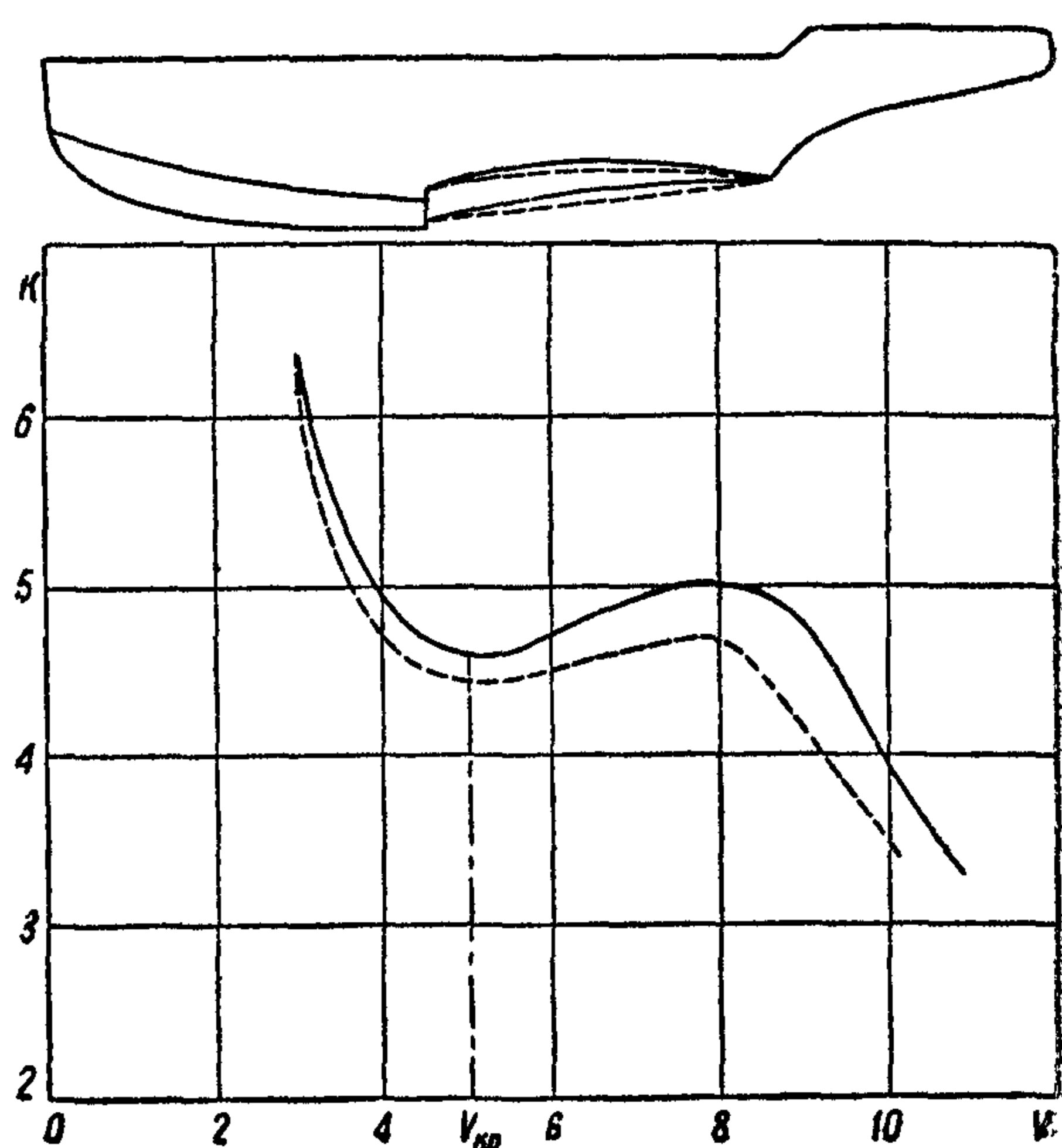
Волнорез

Для больших нагрузок на воду предпочтительны носовые образования с плоскокилеватым профилем ($\beta = 50-60^\circ$), слегка отогнутым у скул.

Величины применяемых на практике углов продольной килеватости межреданной части для лодок колеблются в пределах от $\gamma_1 = 5^\circ$ до $\gamma_1 = 9^\circ$ и для поплавков от $\gamma_1 = 6^\circ$ до $\gamma_1 = 8^\circ$.



Фиг. 78



Фиг. 79

Кормовые образования, борта и палуба

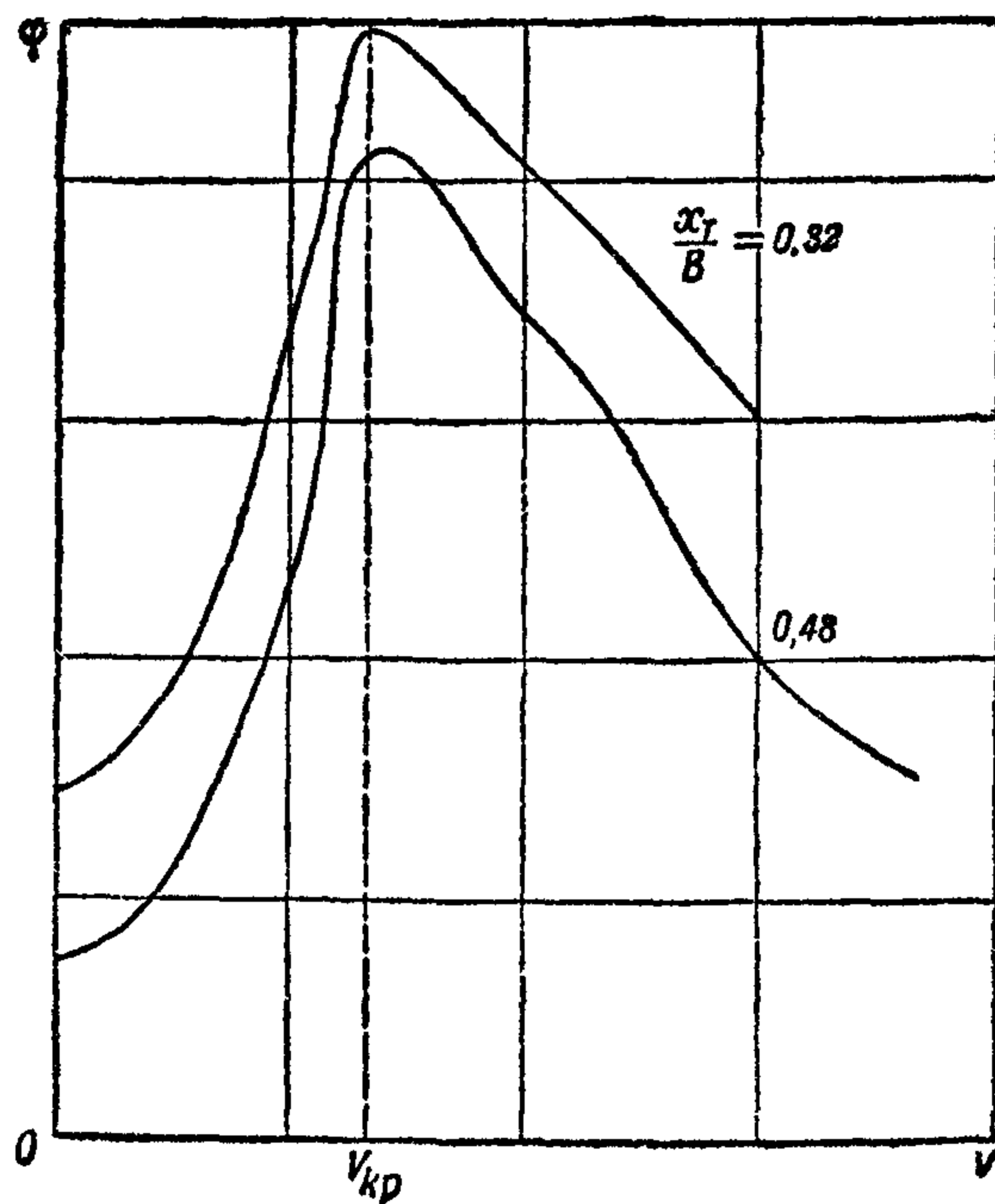
Кормовая часть корпуса должна быть выполнена таким образом, чтобы исключить возможность заливания ее водой при разбеге гидросамолета. Угол γ_2 продольной килеватости кормовой части изменяется в пределах $20-30^\circ$.

Борта выше GWL и палуба не играют непосредственно роли при разбеге. Ниже GWL подъем бортов желателен вертикальный. Развал бортов наружу по условиям посадки допускается на участке заостренного в плане второго редана.

ЦЕНТРОВКА ГИДРОСАМОЛЕТА

Углы диферента глиссирующего корпуса гидросамолета зависят от взаимного расположения ц. т. гидросамолета и реданов. Перемещение ц. т. гидросамолета вперед относительно редана снижает углы диферента на всем диапазоне скоростей (фиг. 80). Передняя центровка обеспечивает снижение сопротивления на критической скорости, но приводит к повышению его на больших скоростях, вследствие больших смоченных поверхностей носовой части. Задняя центровка вызывает противоположный эффект в отношении гидродинамического сопротивления.

Расстояние (x_r) по горизонтали между ц. т. летающей лодки и первым реданом рекомендуется принимать равным $x_r \approx (0,20-0,30) B$.



Фиг. 80

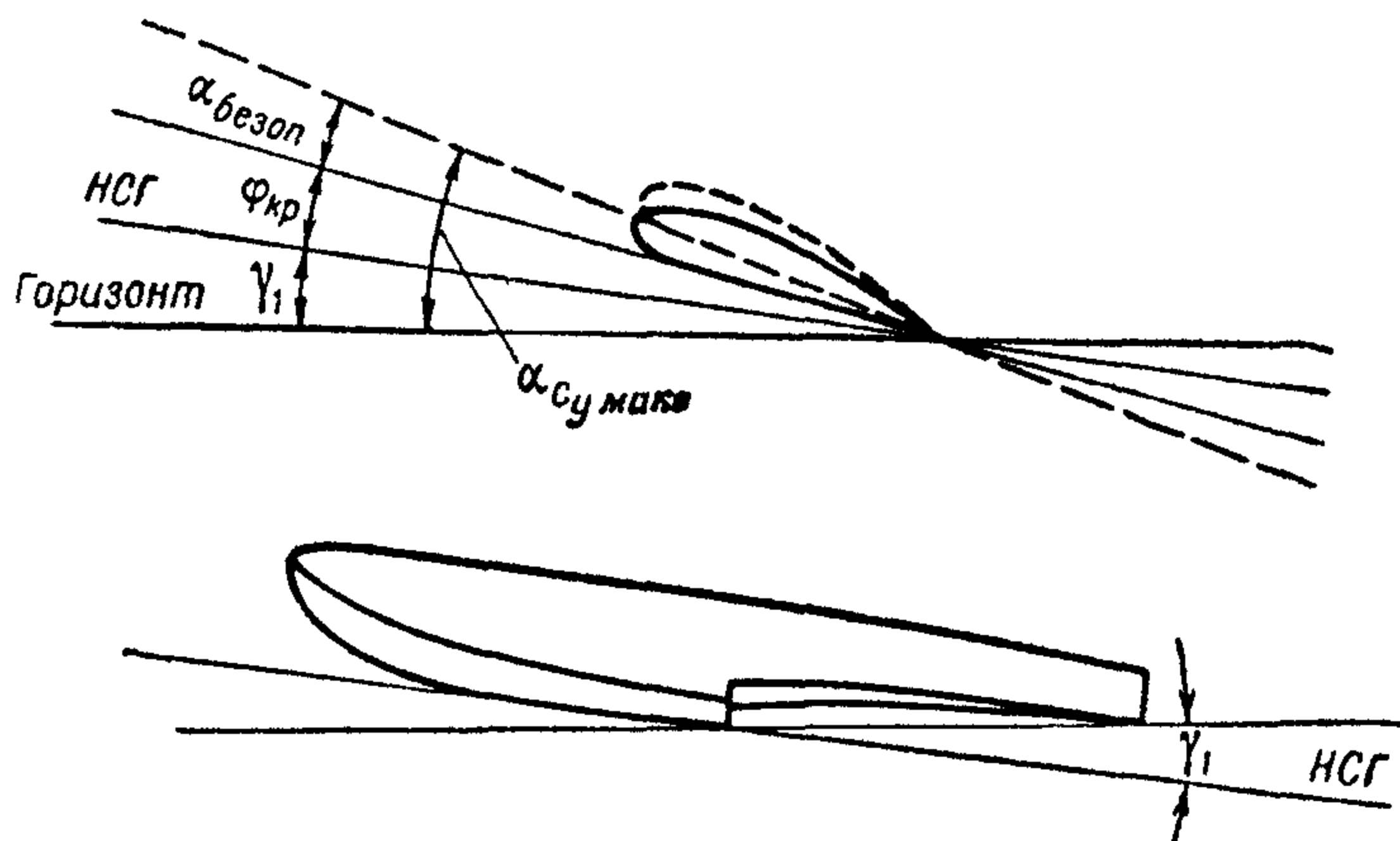
УГОЛ УСТАНОВКИ КРЫЛА

Угол установки крыла по отношению к корпусу должен выбираться из следующих условий:

- а) минимального аэродинамического сопротивления корпуса на летных углах атаки крыла;
- б) посадки гидросамолета на два редана;
- в) безопасности при посадке в случае внезапного появления момента на корму гидросамолета;
- г) достаточной подъемной силы крыльев в момент отрыва;
- д) взлетных углов атаки меньших, чем критические.

При выборе угла установки крыла обычно пользуются следующим уравнением (фиг. 81):

$$\alpha_{c_{y \text{ макс}}} = \gamma_1 + \varphi_{\text{кр}} + \alpha_{\text{безоп}}$$



Фиг. 81

- где $\alpha_{c_{y \text{ макс}}}$ — угол атаки крыла при $c_{y \text{ макс}}$;
 $\alpha_{\text{безоп}} = 2-3^\circ$ — угол безопасности против внезапного появления момента на корму гидросамолета;
 $\varphi_{\text{кр}}$ — угол заклинения крыла по отношению СГ корпуса или поплавка; обычно принимают: для лодочных гидросамолетов $\varphi_{\text{кр}} = 4-6^\circ$ и для поплавковых $\varphi_{\text{кр}} = 3-3^\circ,5$;
 γ_1 — угол продольной килеватости межреданной части.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Munro W. Marine aircraft design. — L. Pitman, 1933, 230 p.
2. Gouge A. Flying-boats and their possible developments. — „RAS“ 1935, v. XXXIX, N. 296, p. 691—717, 24 ill.
3. Sottorf W. Gestaltung von Schwimmwerken. — „Luftfahrtforschung“ 1937, v. XIV, N. 4/5, p. 157—167, 26 ill.
4. Gouge A. Recent progress in the design of civil flying boats. — „RAS“ 1937, v. XLI, N. 316, p. 257—283, 11 ill.
5. Eula A. Esperienze idrodinamiche di modelli di galleggianti d'idrovolante (la serie). — „Aerotecnica“ 1934, v. XIV, N. 8/9, p. 947—990, 72 ill.
6. Perring W. G. A. The effect of wing setting on the water performance of seaplanes. — ARC R. and M. 1934, N. 1656.
7. Truscott S. The effect of spray strips on the take-off performance of a model of a flying-boat hull. — NACA Rep. 1934, N. 503, p.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЛИССИРОВАНИЯ ПРОФИЛЕЙ МИДЕЛЬ-ШПАНГОУТОВ

Гидродинамическое сопротивление, начиная с режима критической скорости, в основном определяется сопротивлением носовой части лодки (или поплавков) у первого редана. Сопротивление рационально подобранной кормовой части до момента отрыва второго редана составляет не более 5—10% от полного гидродинамического сопротивления.

Днище лодки большинства современных гидросамолетов на участке в одну-две ширины от редана к носу представляет собою цилиндрическую поверхность, сопрягающуюся с определенно подобранном волнорезом; поэтому при изучении стартовых качеств моделей гидросамолетов рационально исходить из сравнительных испытаний цилиндров (цилиндрических вставок) с профилем постоянного поперечного сечения.

Результаты испытаний приводятся для следующих типов профилей:

- 1) плоские профили (плоские пластины),
- 2) вогнутые профили (плоские пластины с продольным изгибом),
- 3) плоскокилеватые профили,
- 4) профили с цилиндрическими тоннелями,
- 5) профили со скуловыми накладками.

Испытания были проведены на режиме критической скорости и режиме глиссирования.

В таблице XIV и на фиг. 82 и 83 приведены данные, характеризующие форму профиля.

Результаты испытаний представлены в виде диаграмм, на которых приводятся гидродинамические характеристики в функции угла атаки при следующих обозначениях:

W — полное гидродинамическое сопротивление профиля [кг],

Δ — нагрузка на воду [кг],

B — ширина профиля по скуле (постоянная для всех профилей и равная 0,3 м),

S — смоченная площадь [м²],

M — момент гидродинамических сил, подсчитанный относительно нижней точки задней кромки глиссирующей поверхности [кгм],

$\varepsilon = \frac{W}{\Delta}$ — коэффициент глиссирования,

$c_m = \frac{M}{B\Delta}$ — коэффициент момента (представляет положение центра давления по длине в долях от ширины),

$\chi = \frac{S}{B^2}$ — коэффициент смоченной площади,

$c_\Delta = \frac{\Delta}{\gamma B^3}$ — коэффициент нагрузки,

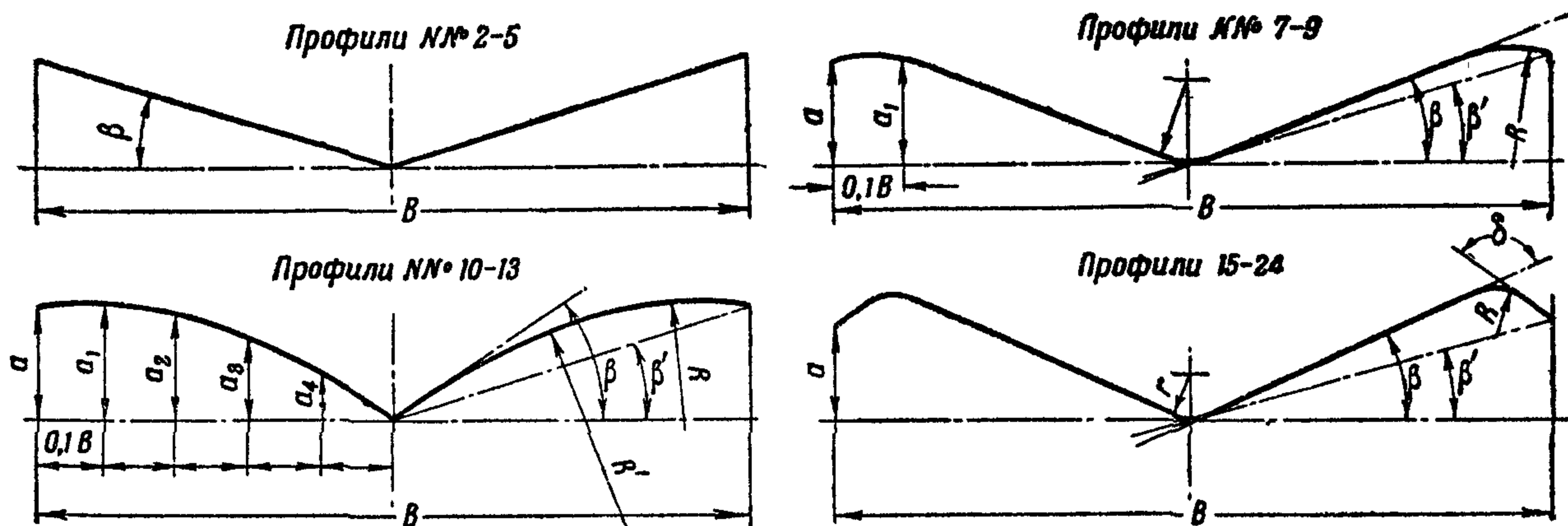
$c_v = \frac{V}{\sqrt{gB}}$ — коэффициент скорости.



Таблица XIV.

Основные размеры профилей №№ 1—25 (фиг. 82 и 83); $B=0,3$ м

№ профиля	β	β'	$\frac{R}{B}$	$\frac{R'}{B}$	$\frac{r}{B}$	δ	$\frac{a}{B}$	$\frac{a_1}{B}$	$\frac{a_2}{B}$	$\frac{a_3}{B}$	$\frac{a_4}{B}$
1	П л о с к а я п л а с т и н а										
2	10°	П л о с к о к и л е в а т ы й п р о ф и л ь									
3	15°	П л о с к о к и л е в а т ы й п р о ф и л ь									
4 и 4'	24°	П л о с к о к и л е в а т ы й п р о ф и л ь									
5	40°	П л о с к о к и л е в а т ы й п р о ф и л ь									
6	24°	—	—	—	0,1835	—	—	—	—	—	—
7	24°	(18°30')	0,383	—	0,1835	—	0,157	—	—	—	—
8	10°	(5°15')	0,250	—	—	—	0,046	—	—	—	—
9	24°	(18°15')	0,250	—	—	—	0,165	—	—	—	—
10	(48°30')	(20°)	(0)	(0,533)	—	—	0,182	0,182	0,171	0,141	0,089
11	(48°30')	(16°30')	(0,250)	(0,533)	—	—	0,148	0,179	0,171	0,141	0,089
12	(48°30')	(12°)	(0,250)	(0,533)	—	—	0,106	0,162	0,170	0,141	0,089
13	(30°)	(25°15')	(0)	—	—	—	0,236	0,210	0,167	0,116	0,059
14	П л о с к а я п л а с т и н а с о с к у л о в ы м и н а к л а д к а м и										
15	22°30'	18°30'	(0)	—	0,0866	112°30'	—	—	—	—	—
16	22°30'	18°30'	0,0366	—	0,0866	112°30'	—	—	—	—	—
17	22°30'	18°30'	0,060	—	0,0866	112°30'	—	—	—	—	—
18	22°30'	16°30'	0,060	—	0,0866	112°30'	—	—	—	—	—
19	22°30'	16°30'	0,060	—	0,0383	112°30'	—	—	—	—	—
20	30°	24°50'	0,0366	—	0,0866	105°	—	—	—	—	—
21	30°	24°50'	0,0366	—	0,0866	120°	—	—	—	—	—
22	30°	22°10'	0,0366	—	0,0866	120°	—	—	—	—	—
23	30°	18°40'	0,0366	—	0,0866	120°	—	—	—	—	—
24	30°	24°50'	0,0366	—	0,0866	135°	—	—	—	—	—
25	П р о д о л ь н о - и з о г н у т а я п л а с т и н а: $R=38,3B$ и $R=20B$										

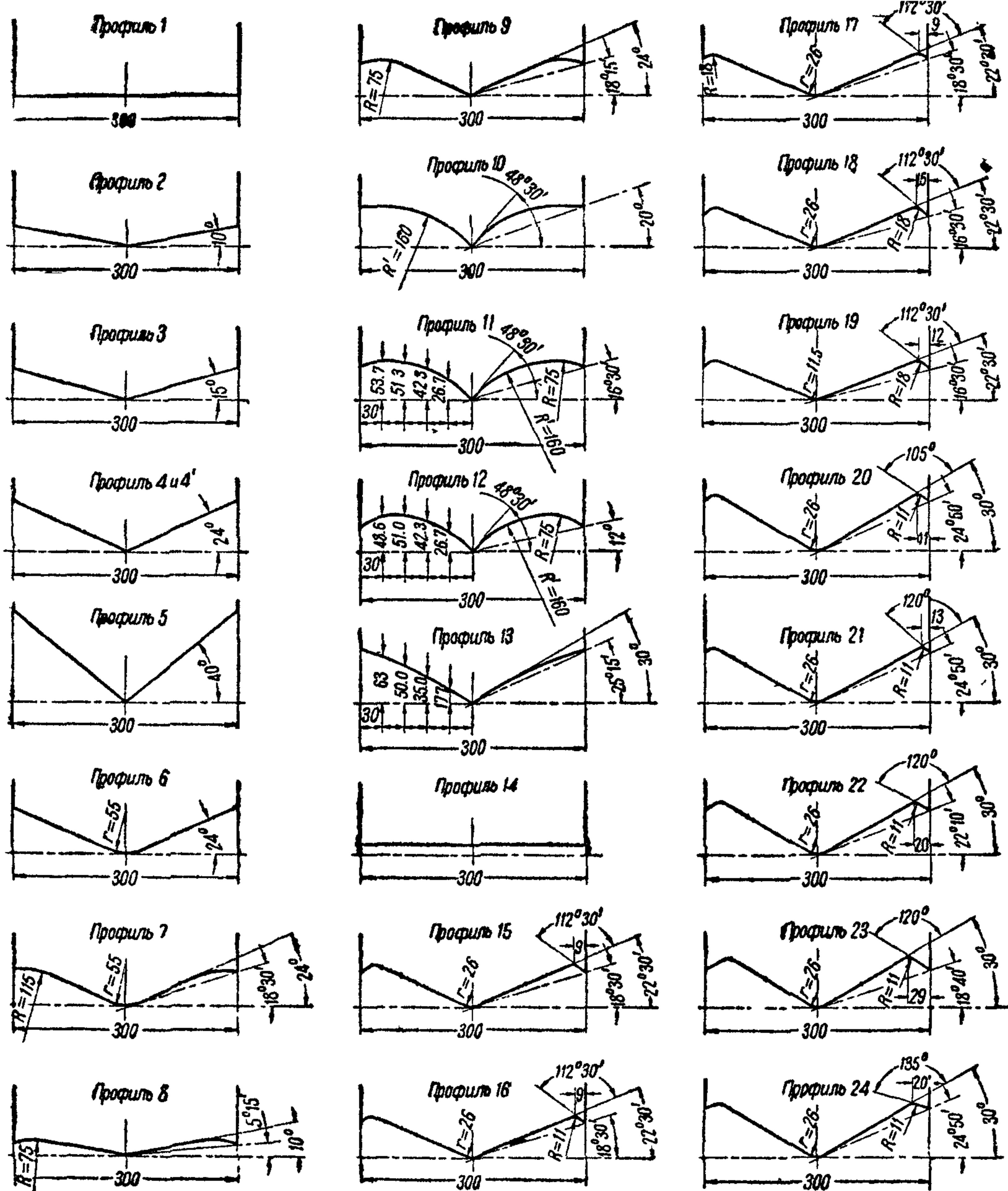


Фиг. 82

В таблице XV приведены значения коэффициентов нагрузки и скорости, при которых были испытаны профили.

Расхождение повторных испытаний составляет для ϵ около 2%, для c_m около 4%, для χ около 2%.

Профили за № 4', 6, 7, 13—24 испытывались в опытовом бассейне ЦАГИ. Профили за № 1—5, 8—12 испытывались в Гамбургском опытовом бассейне.¹²



Фиг. 83

Расхождение результатов сравнительных испытаний в бассейне ЦАГИ и в Гамбургском бассейне с плоской пластинкой ($B=0,3$ м) и килеватой пластинкой ($B=0,3$ м; $\beta=24^\circ$) составляет в среднем для значений ϵ около 3% , для значений c_m около 4% и для значений χ около 2% (фиг. 84 и 85).

На фиг. 86—89 приводятся результаты испытаний плоских пластин².

На фиг. 90 приведены результаты испытаний изогнутых в продольном направлении (в направлении движения) пластин.

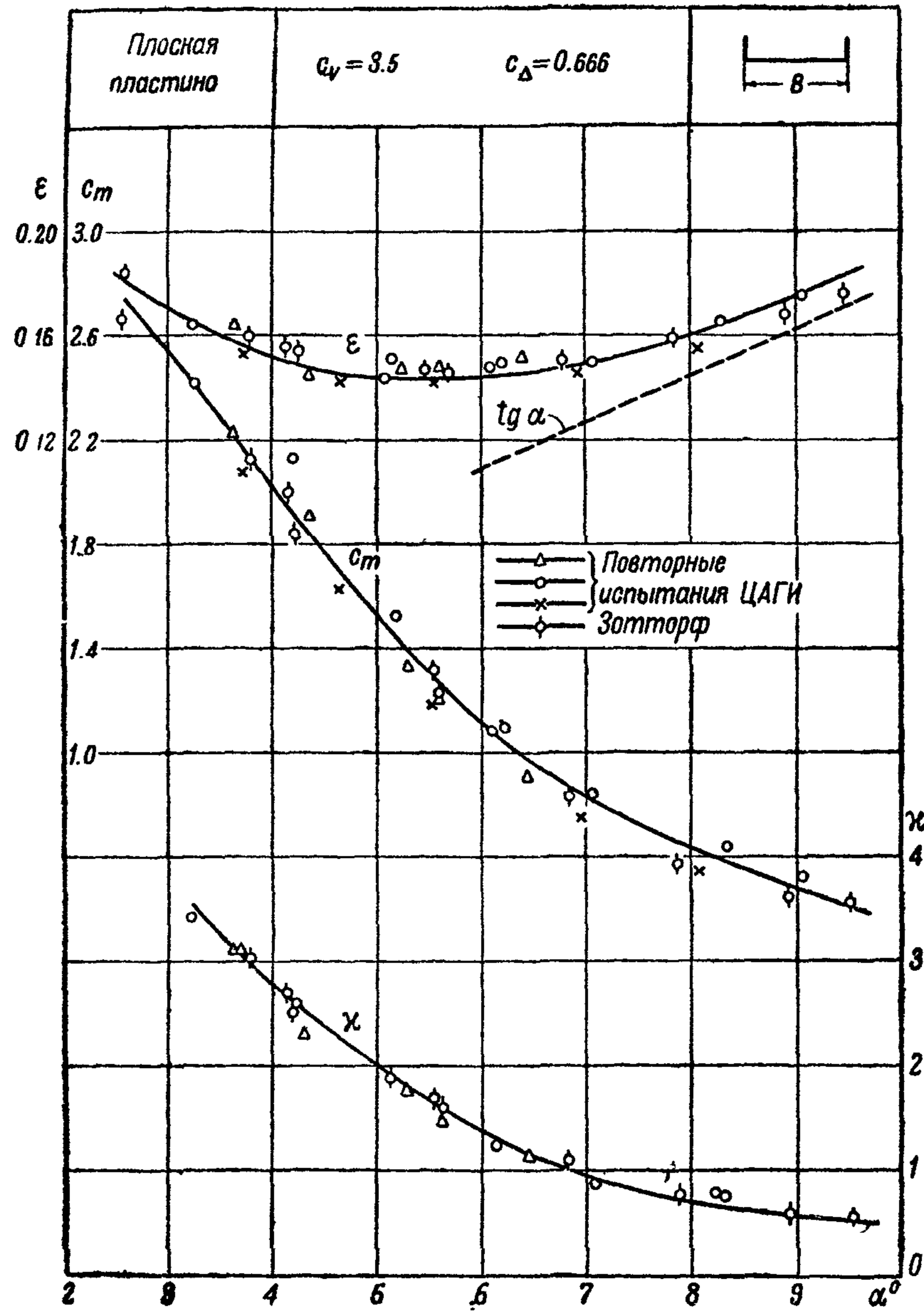
На фиг. 91 дано сопоставление результатов испытаний плоскокилеватых профилей.

На фиг. 92—122 приводятся результаты испытаний профилей № 4, 6, 7, 10—24.

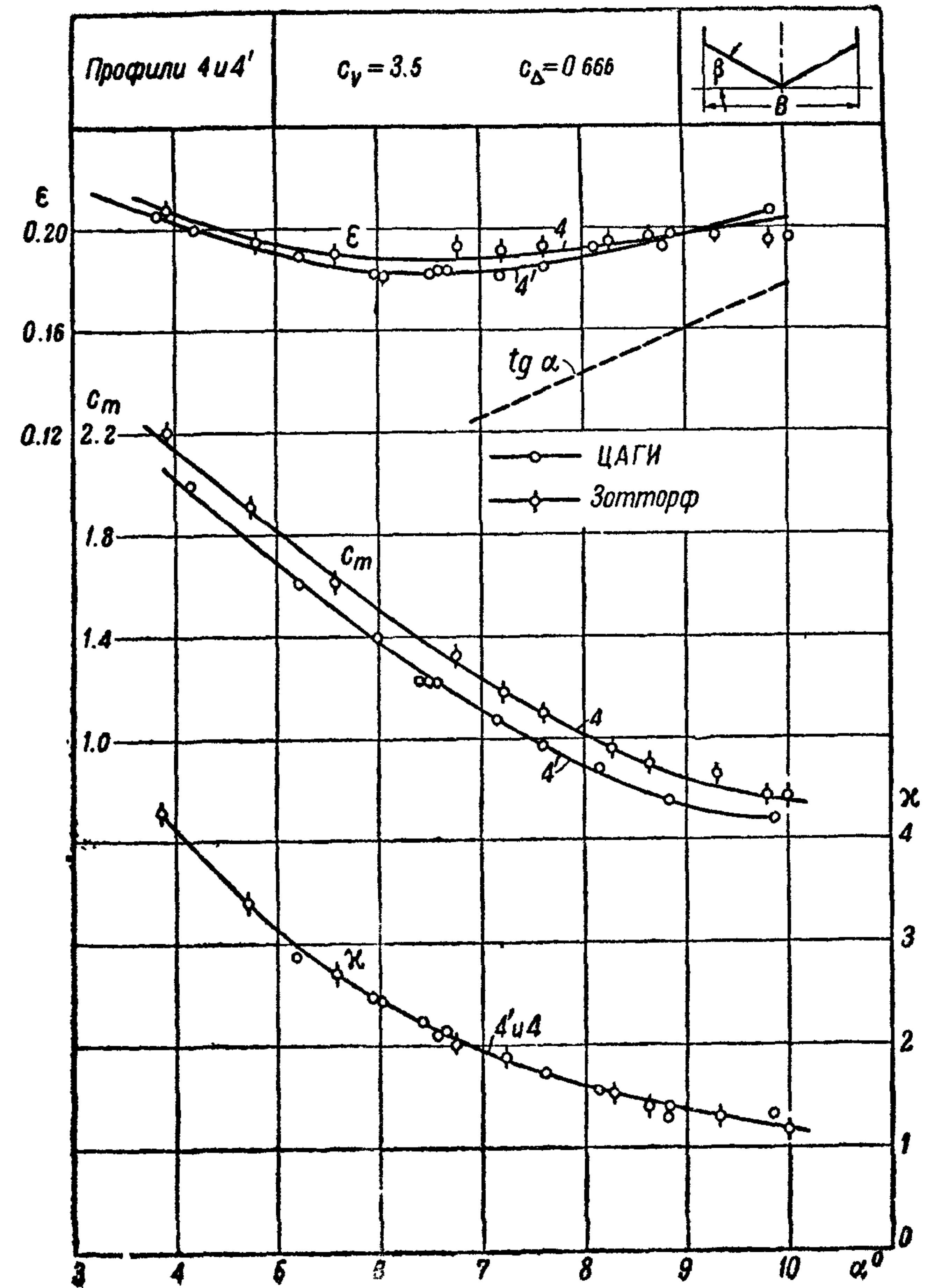
На фиг. 123—130 приводятся результаты сравнения профилей различных типов.

На стр. 122—123 приведено краткое описание гидродинамических характеристик профилей.

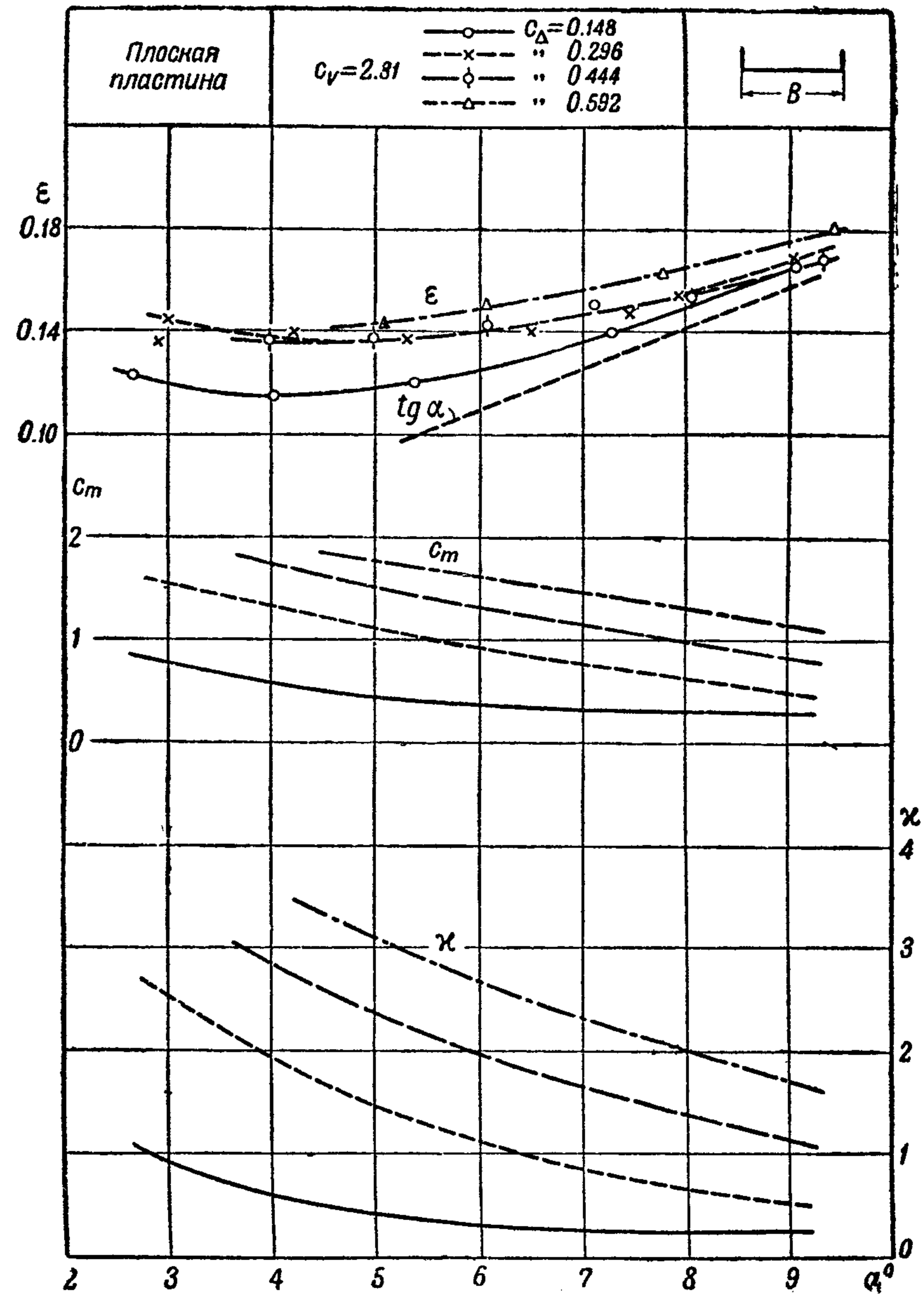
Необходимо иметь в виду, что окончательный выбор профиля должен производиться при одновременном рассмотрении посадочных качеств профиля (стр. 39—41).



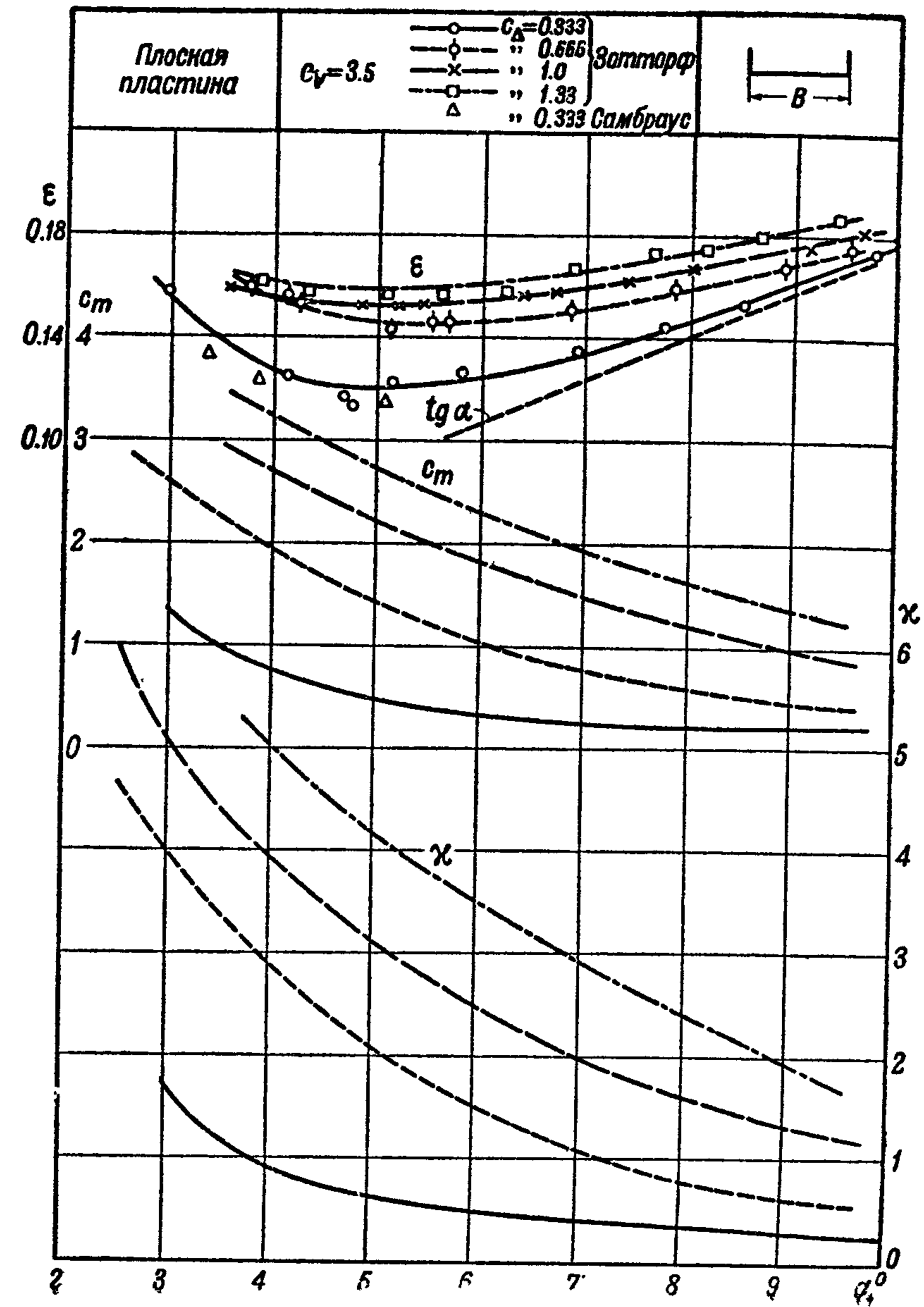
Фиг. 84



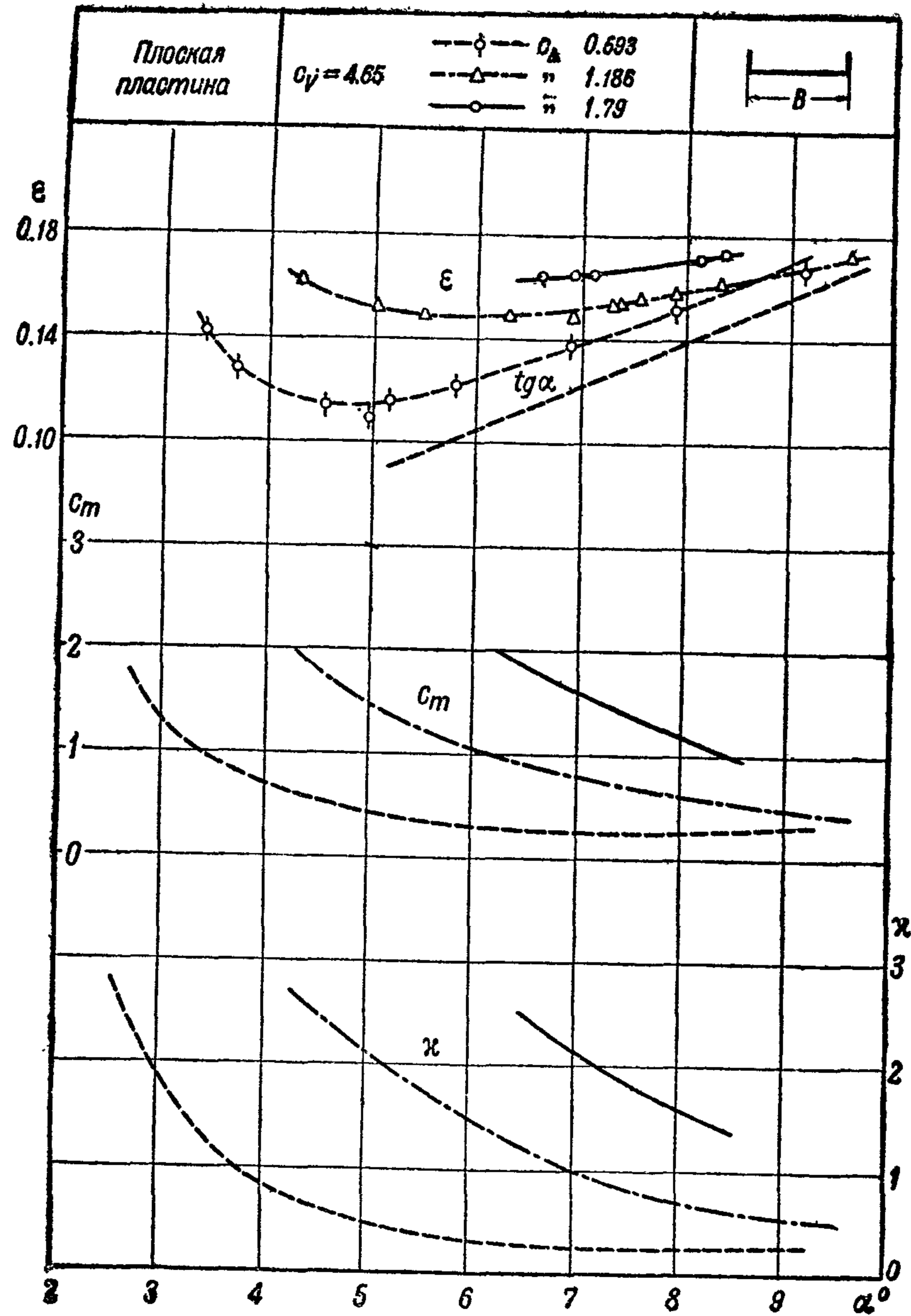
Фиг. 85



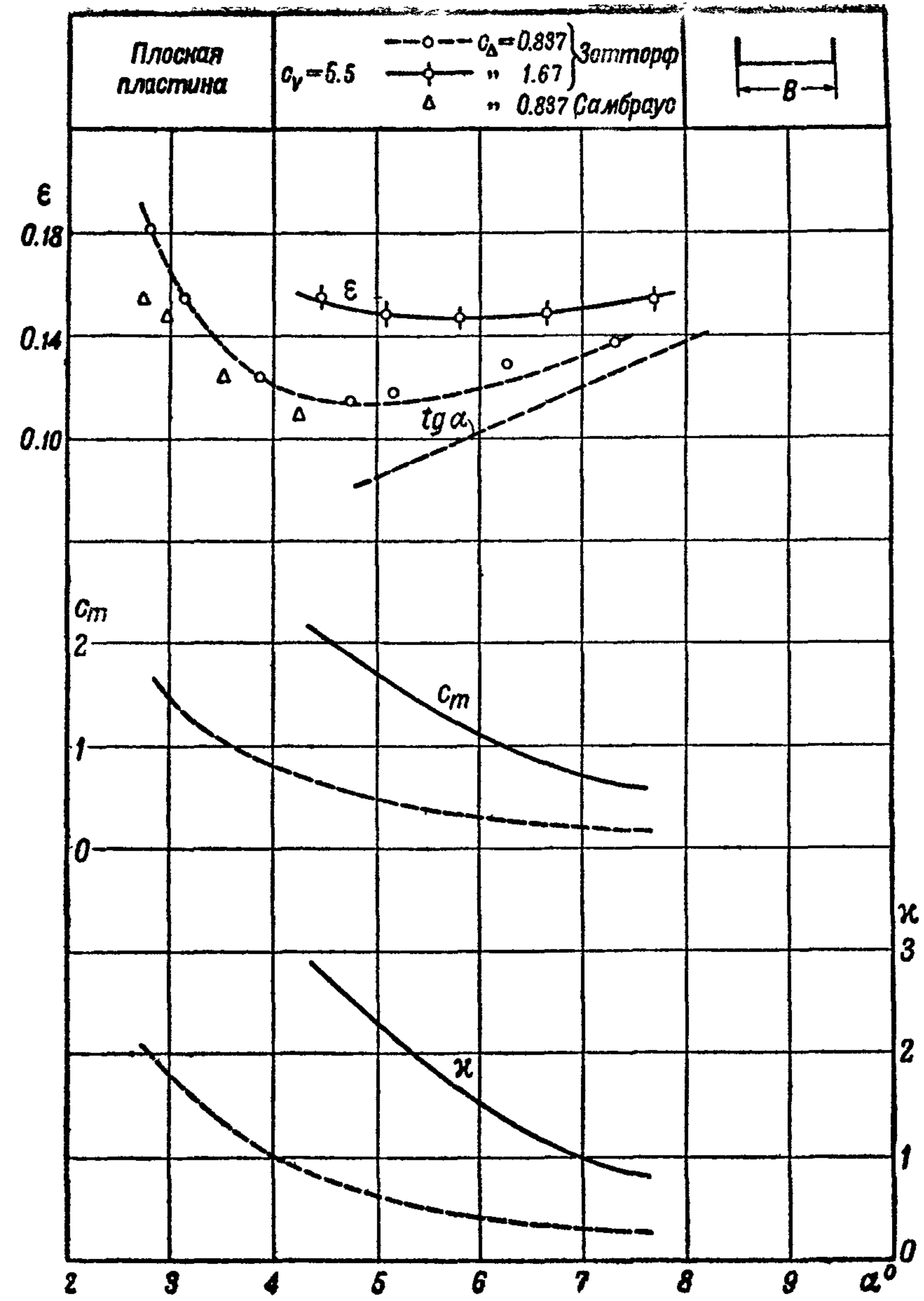
Фиг. 86



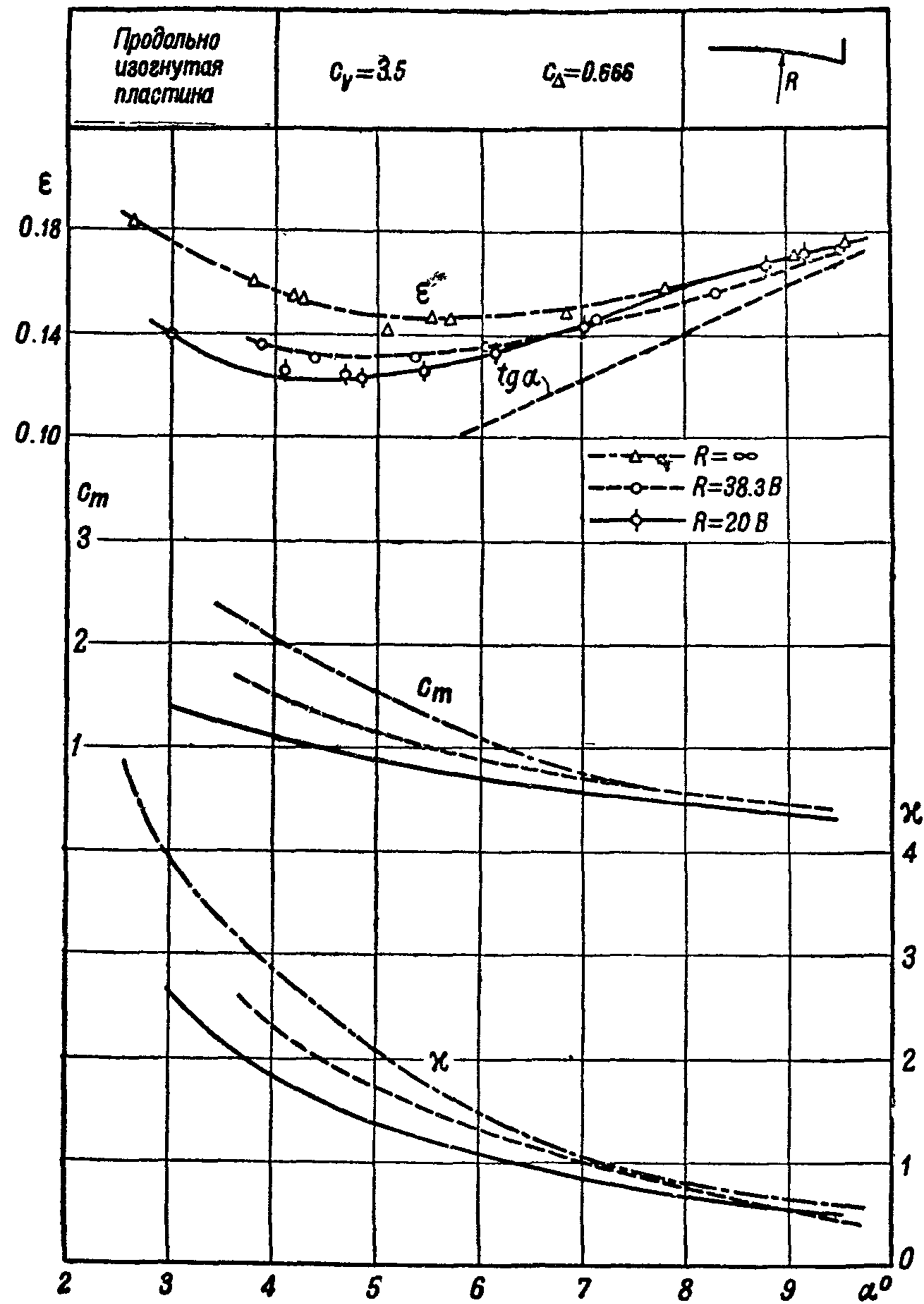
Фиг. 87



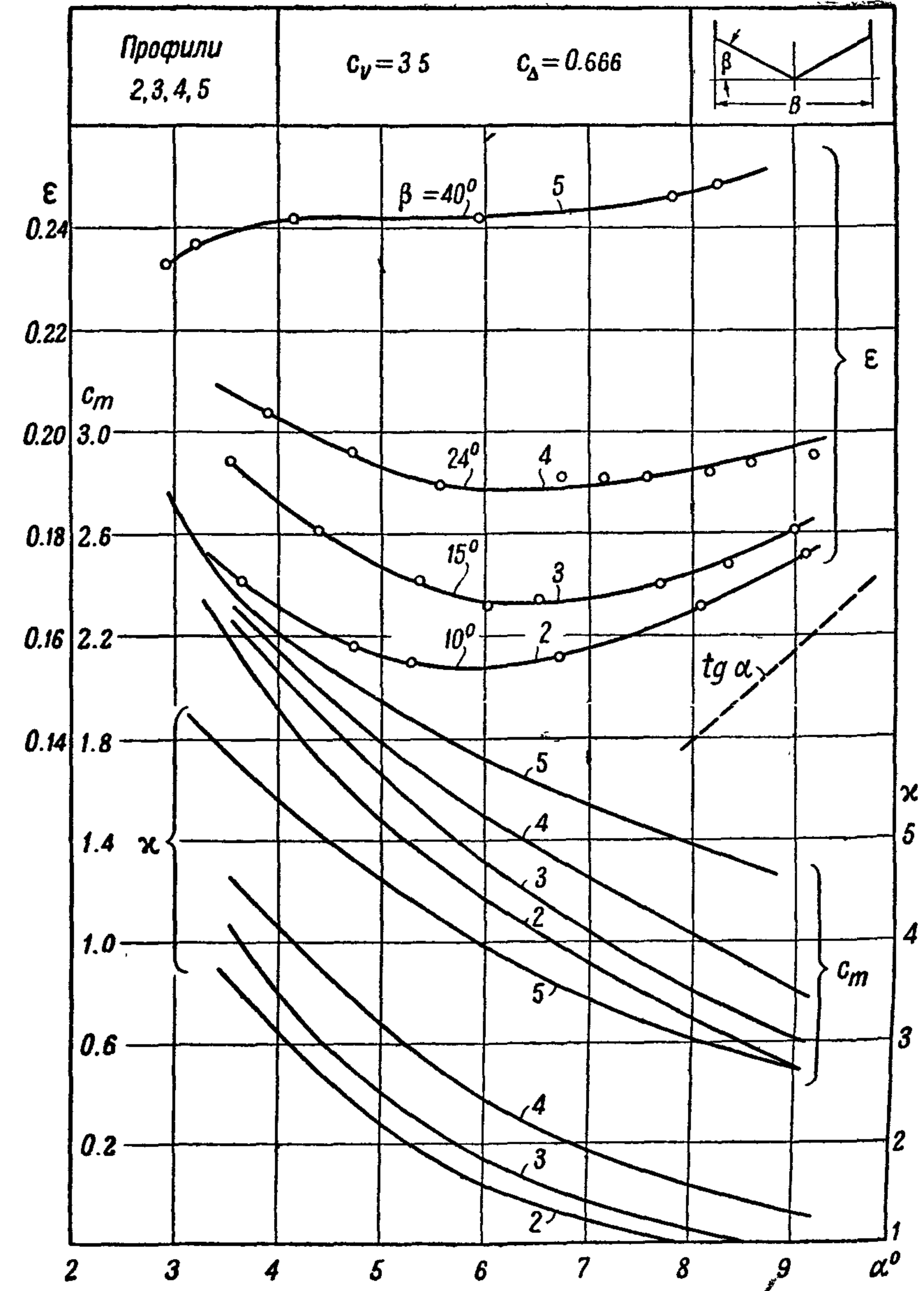
Фиг. 88



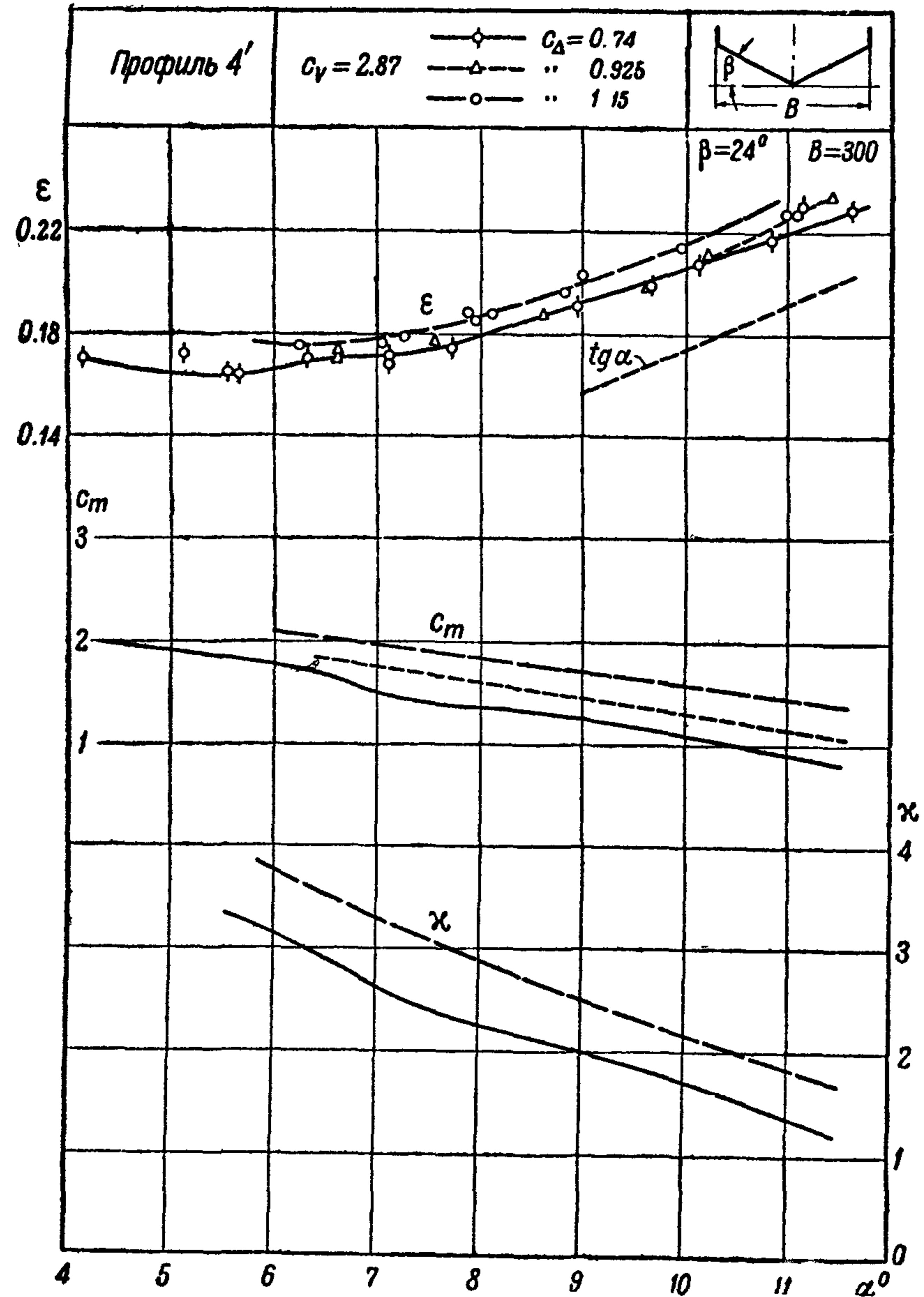
Фиг. 89



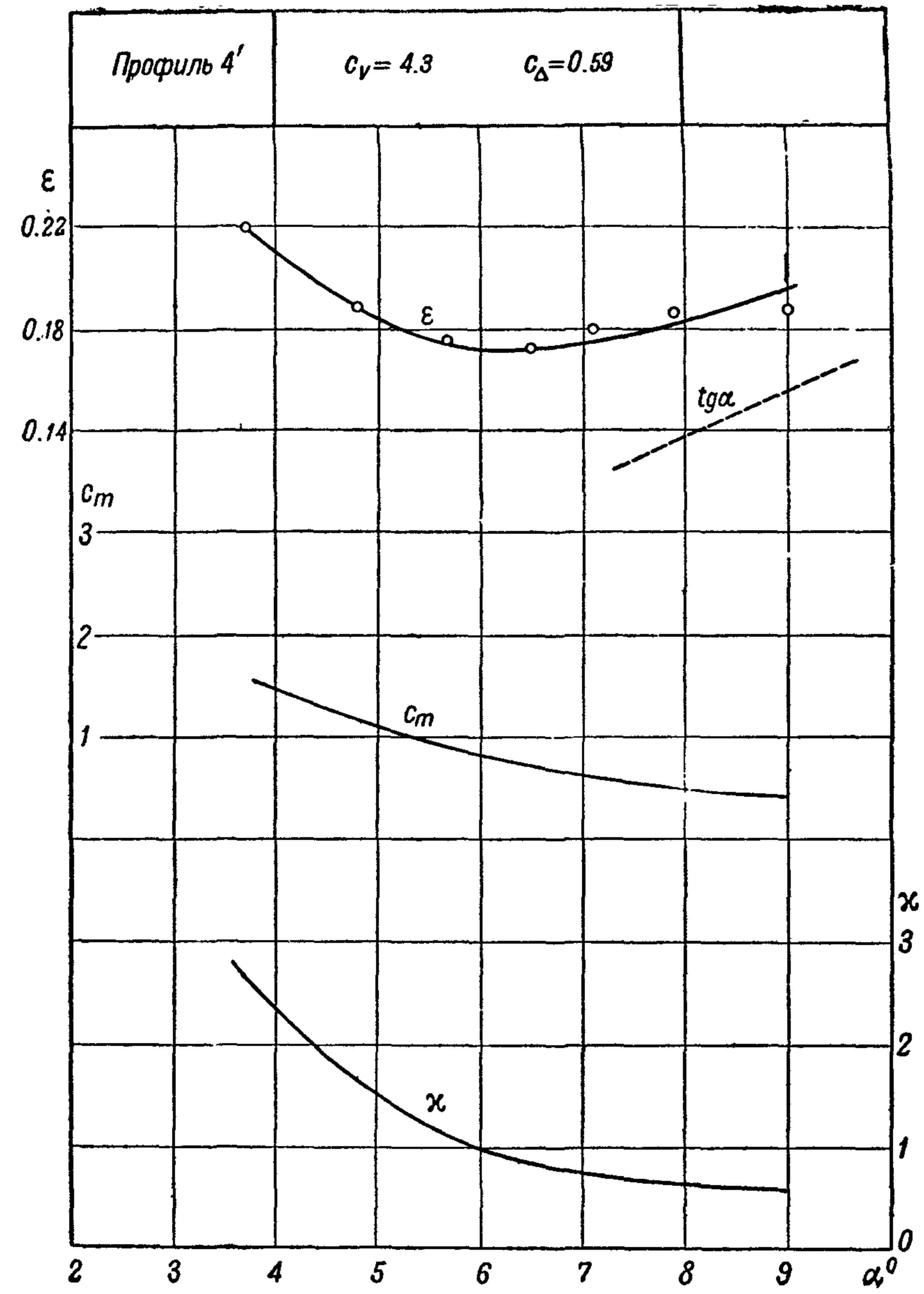
Фиг. 90



Фиг. 91

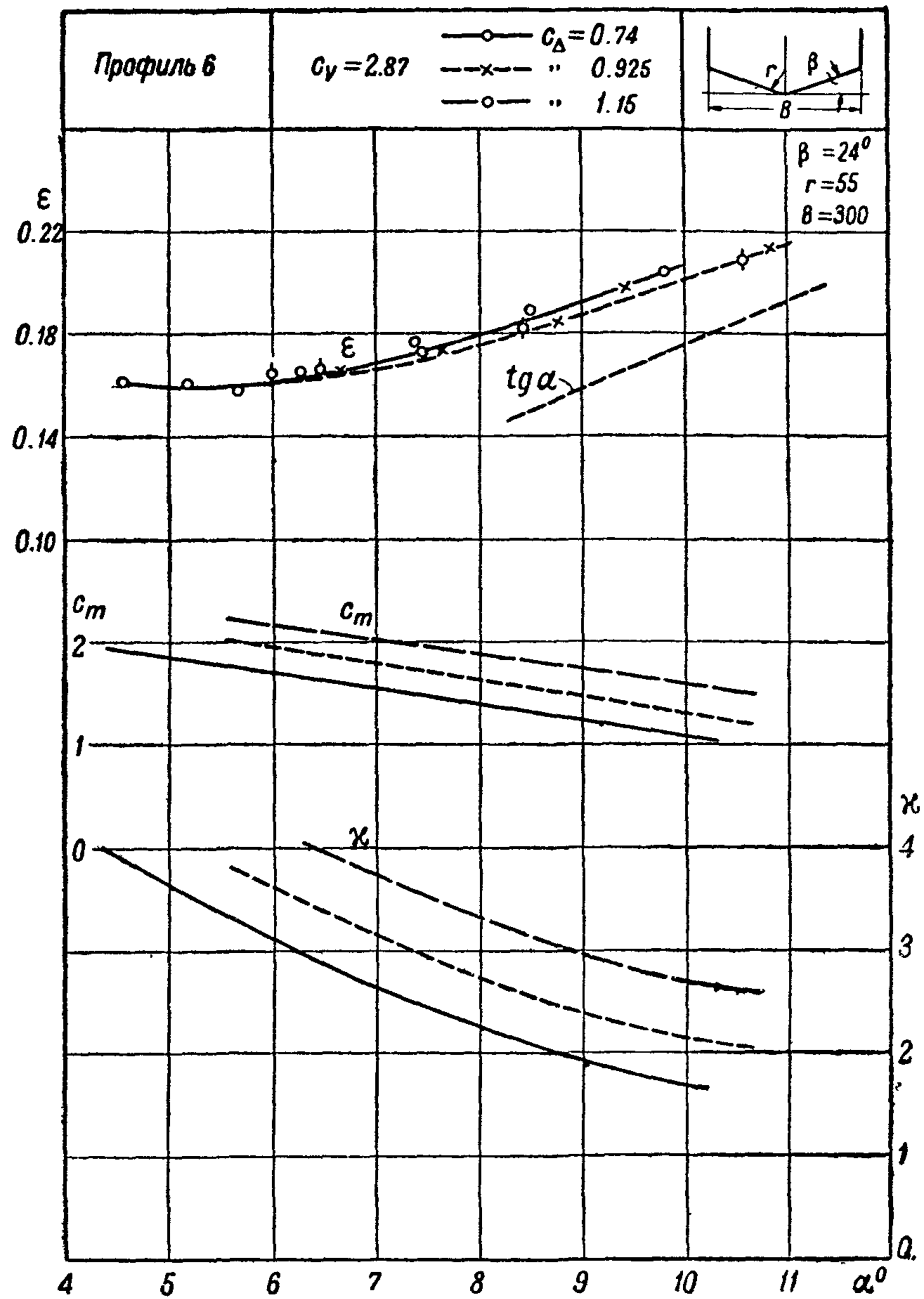


Фиг. 92

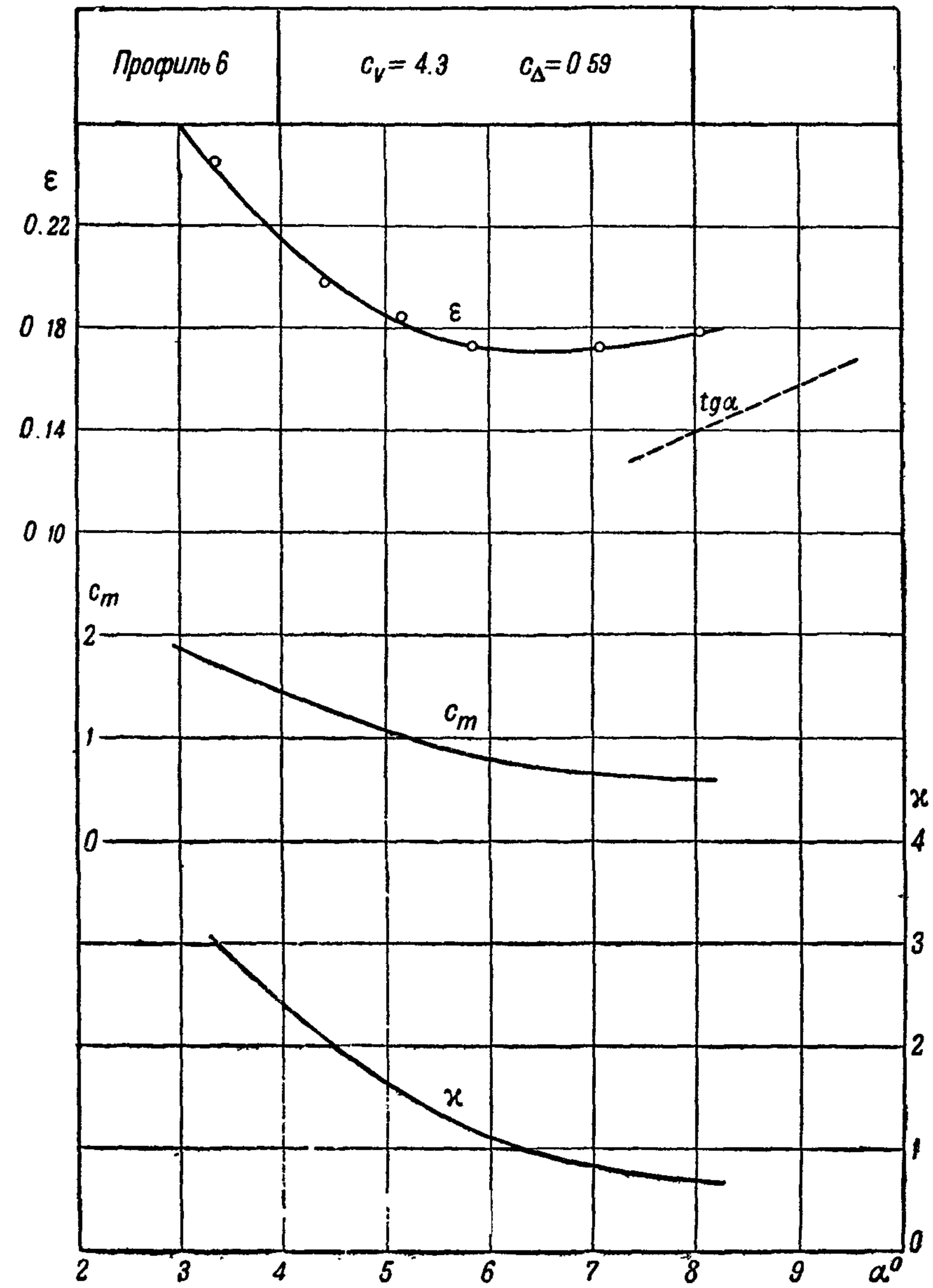


Фиг. 93

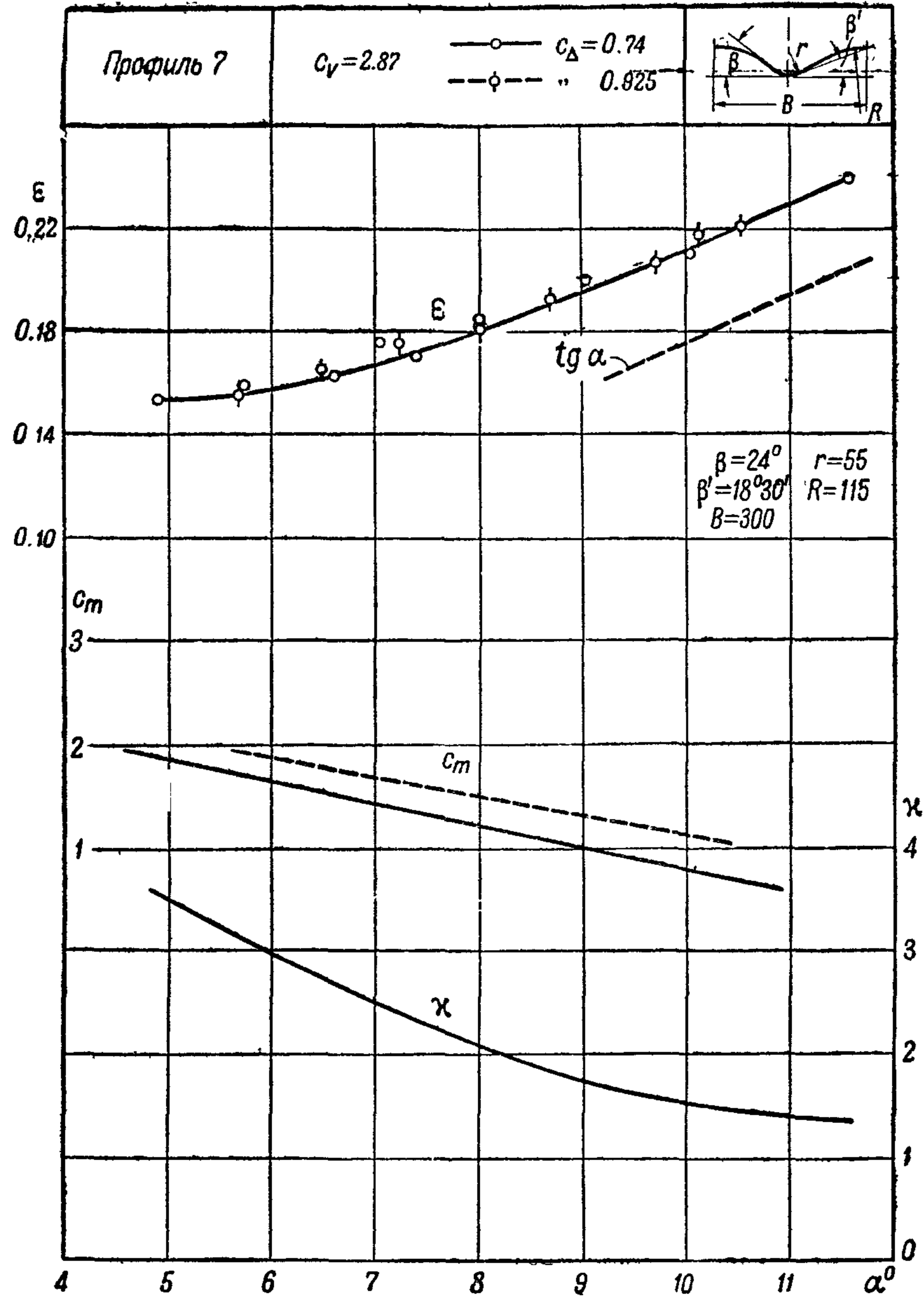
7*



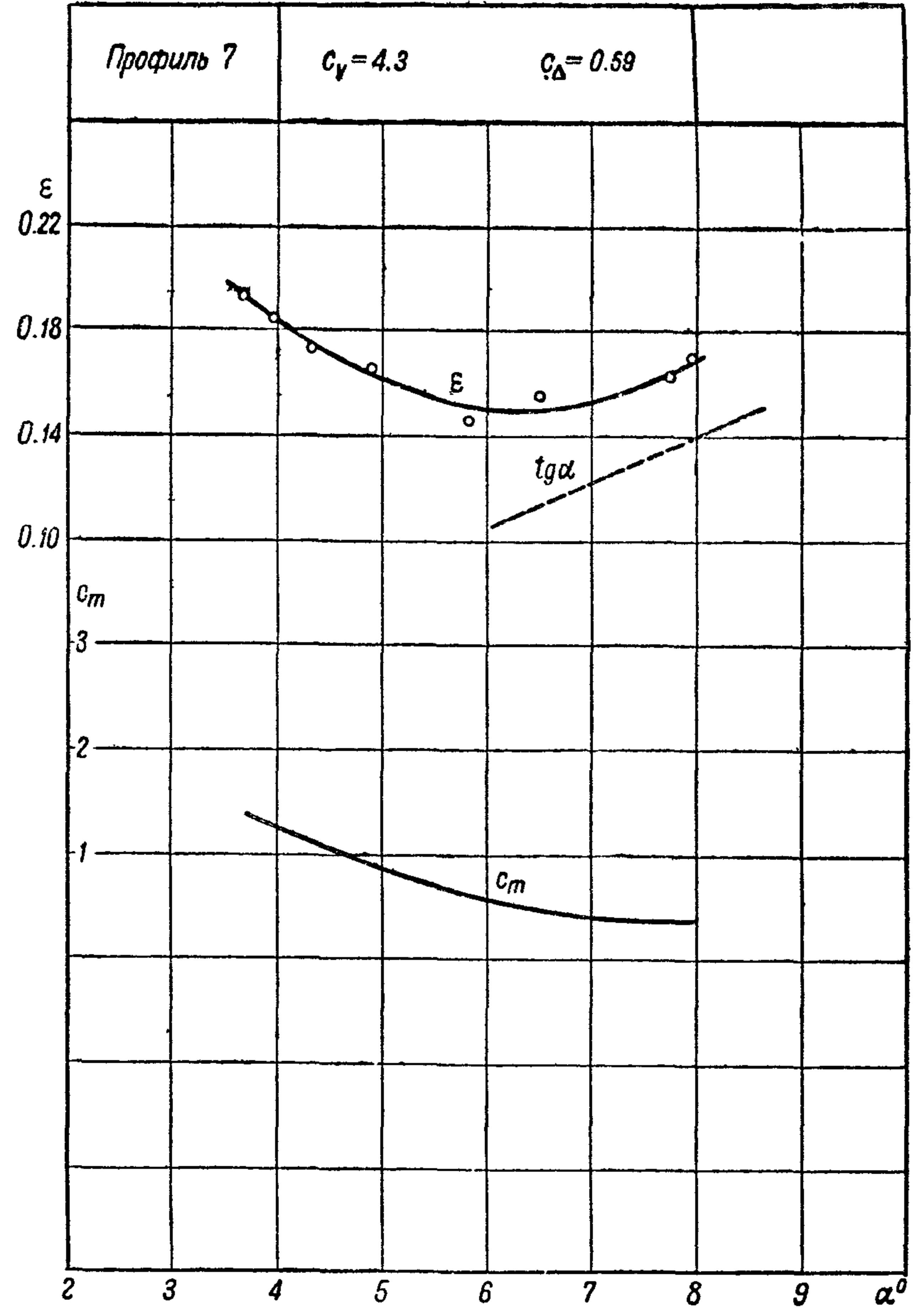
Фиг. 94



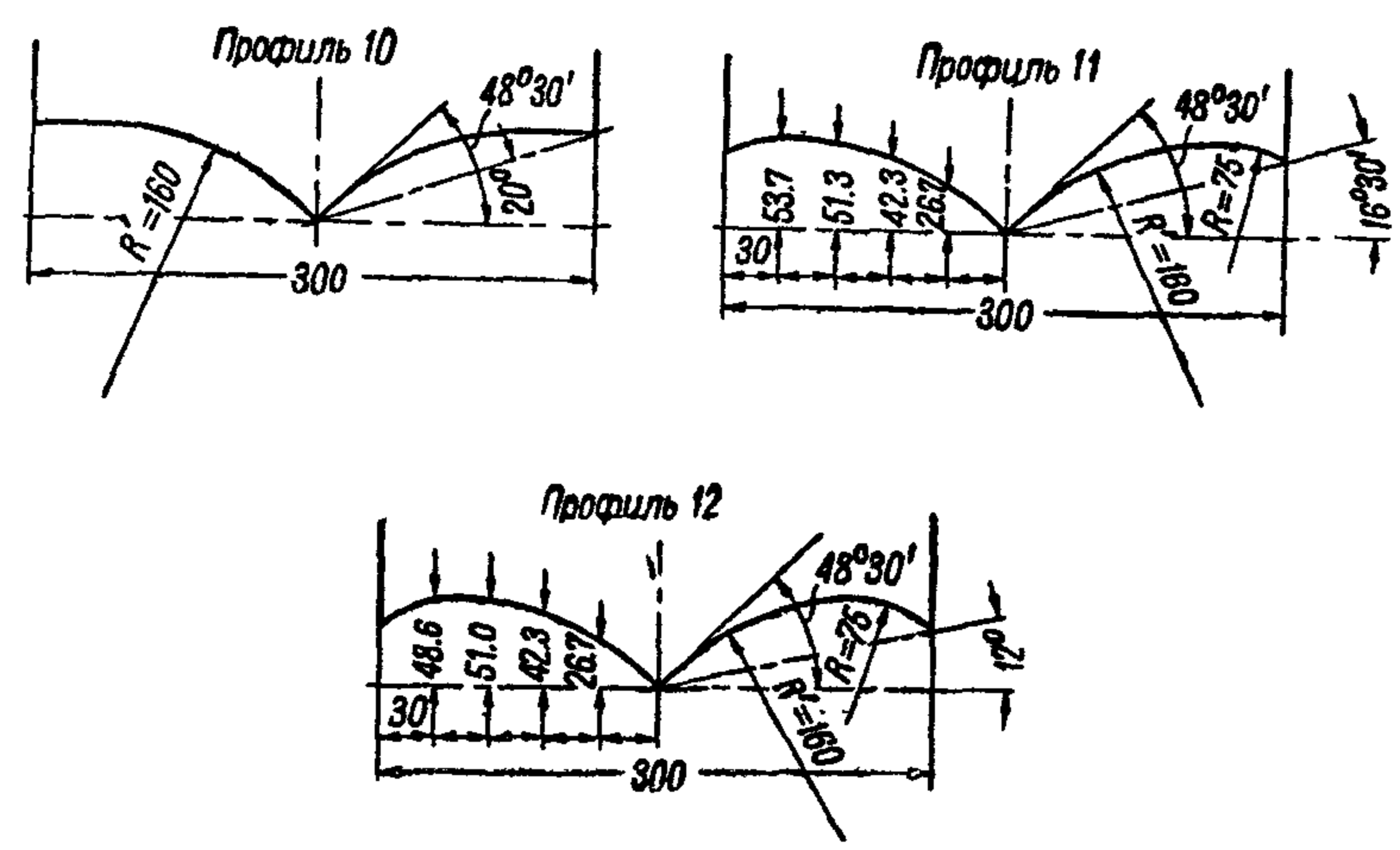
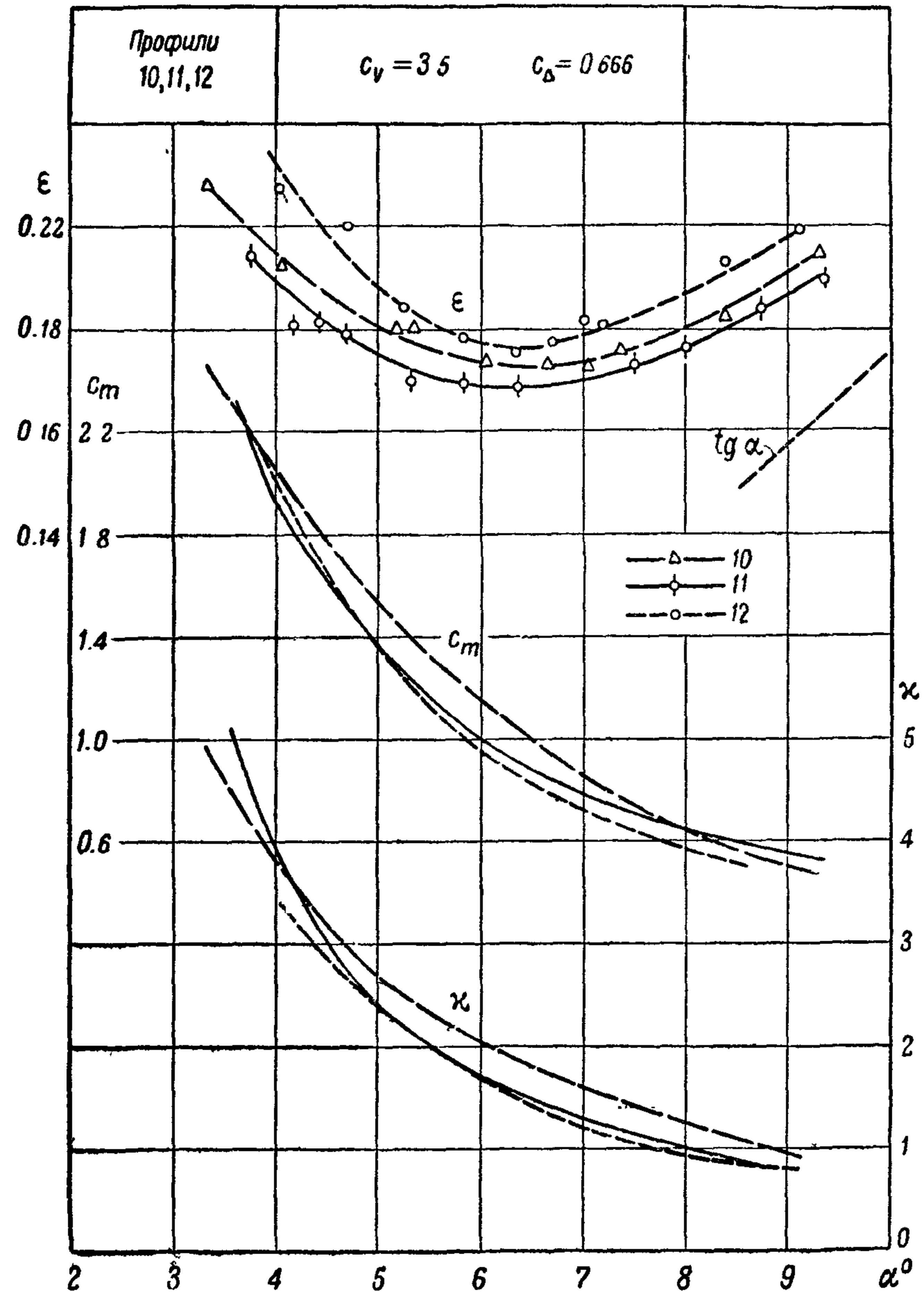
Фиг. 95



Фиг. 96

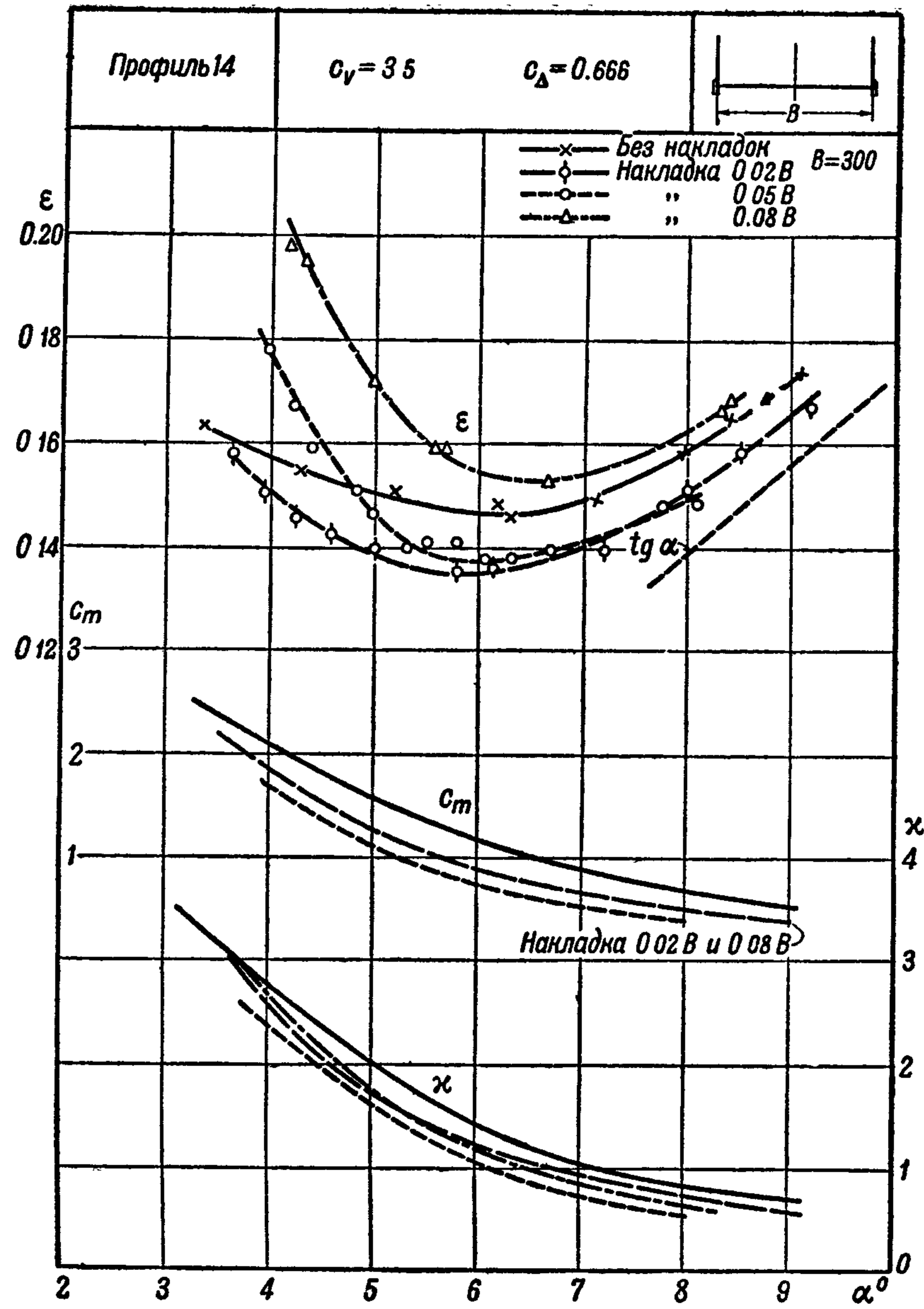


Фиг. 97

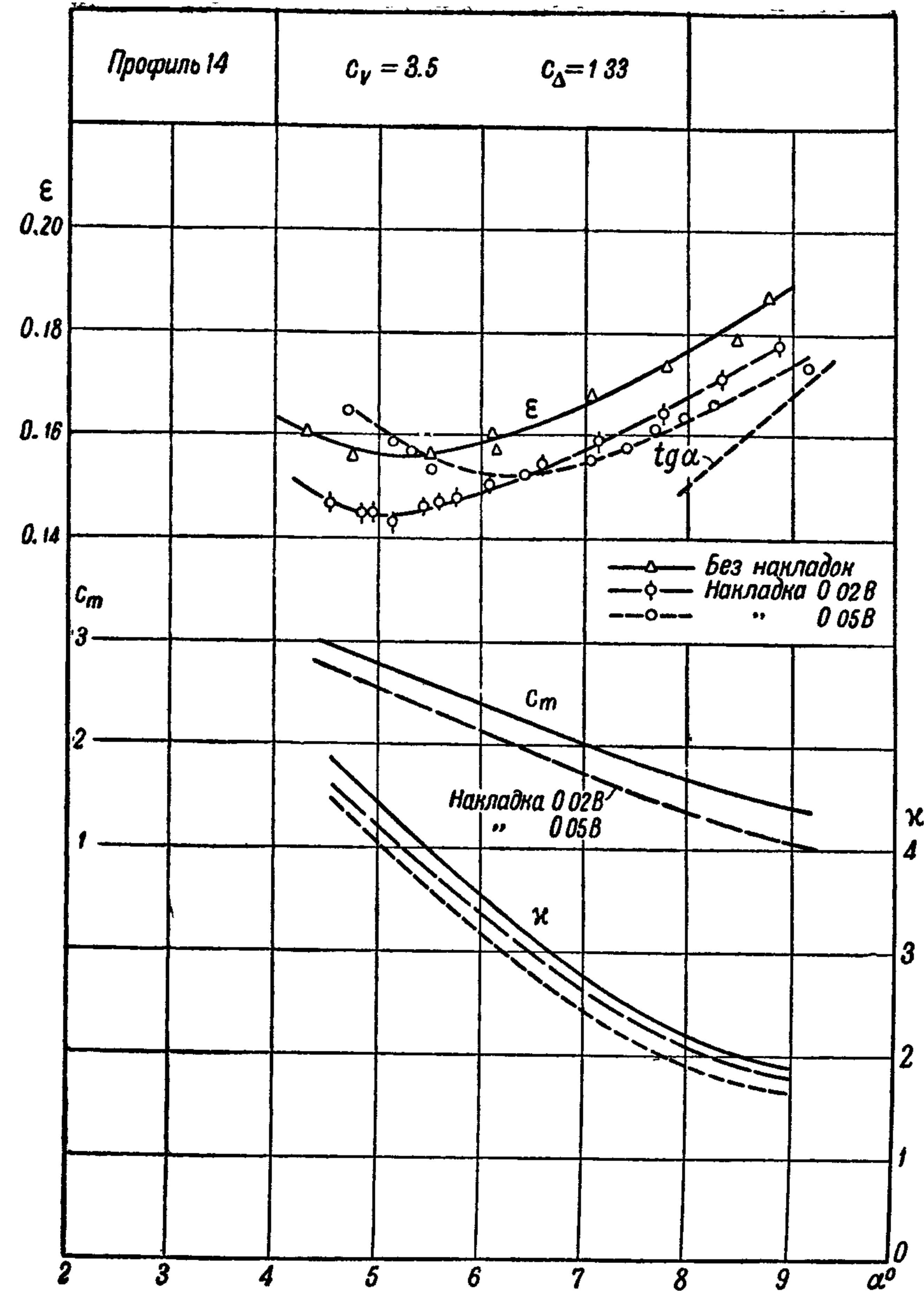


На фиг. 98 приводится сравнение профилей с цилиндрическими туннелями. Отгиб профиля у края улучшает гидродинамические характеристики и уменьшает брызгообразование (№ 10 и 11). При слишком большом опускании скулы гидродинамические характеристики профиля могут ухудшиться (№ 12).

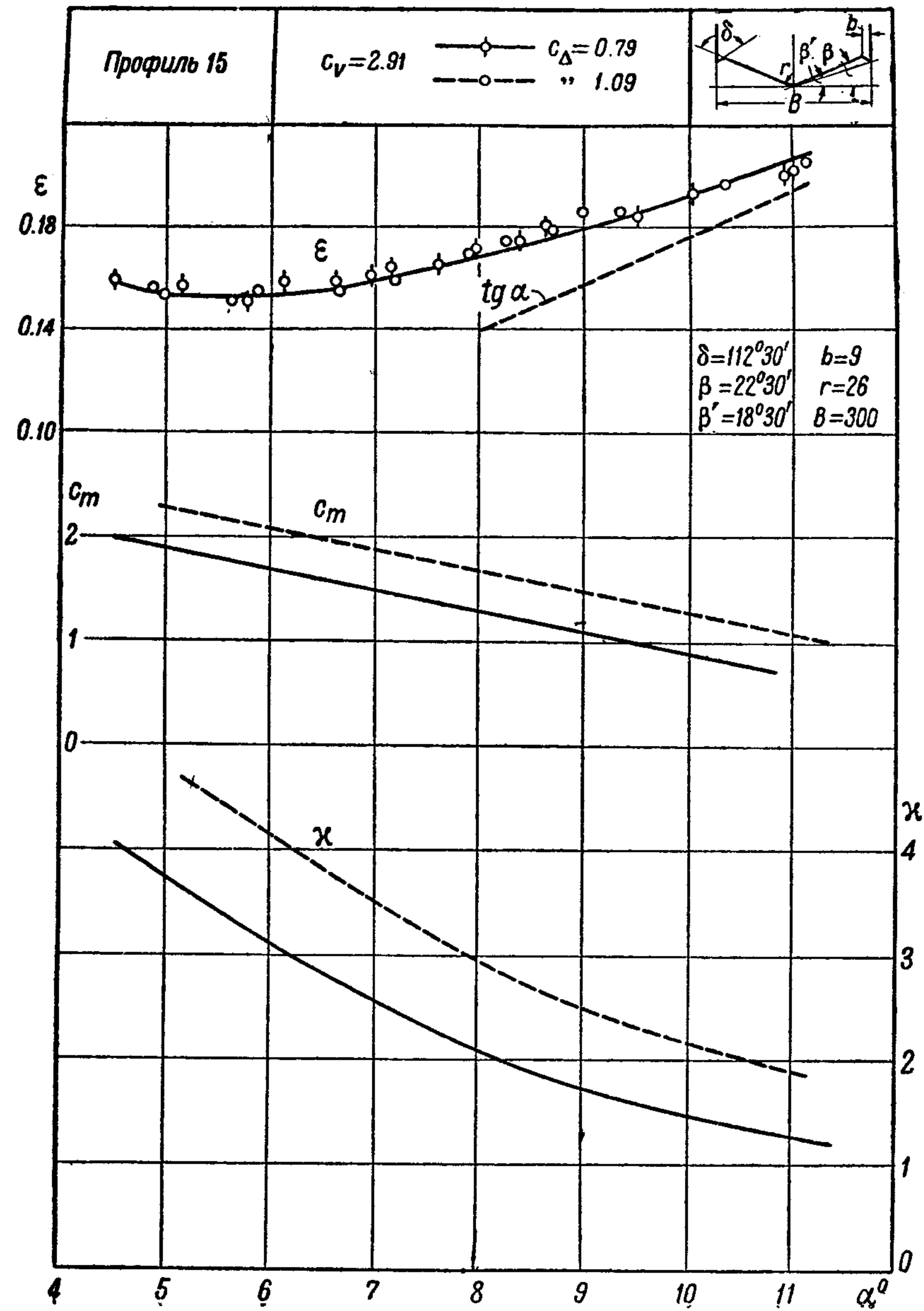
Фиг. 98



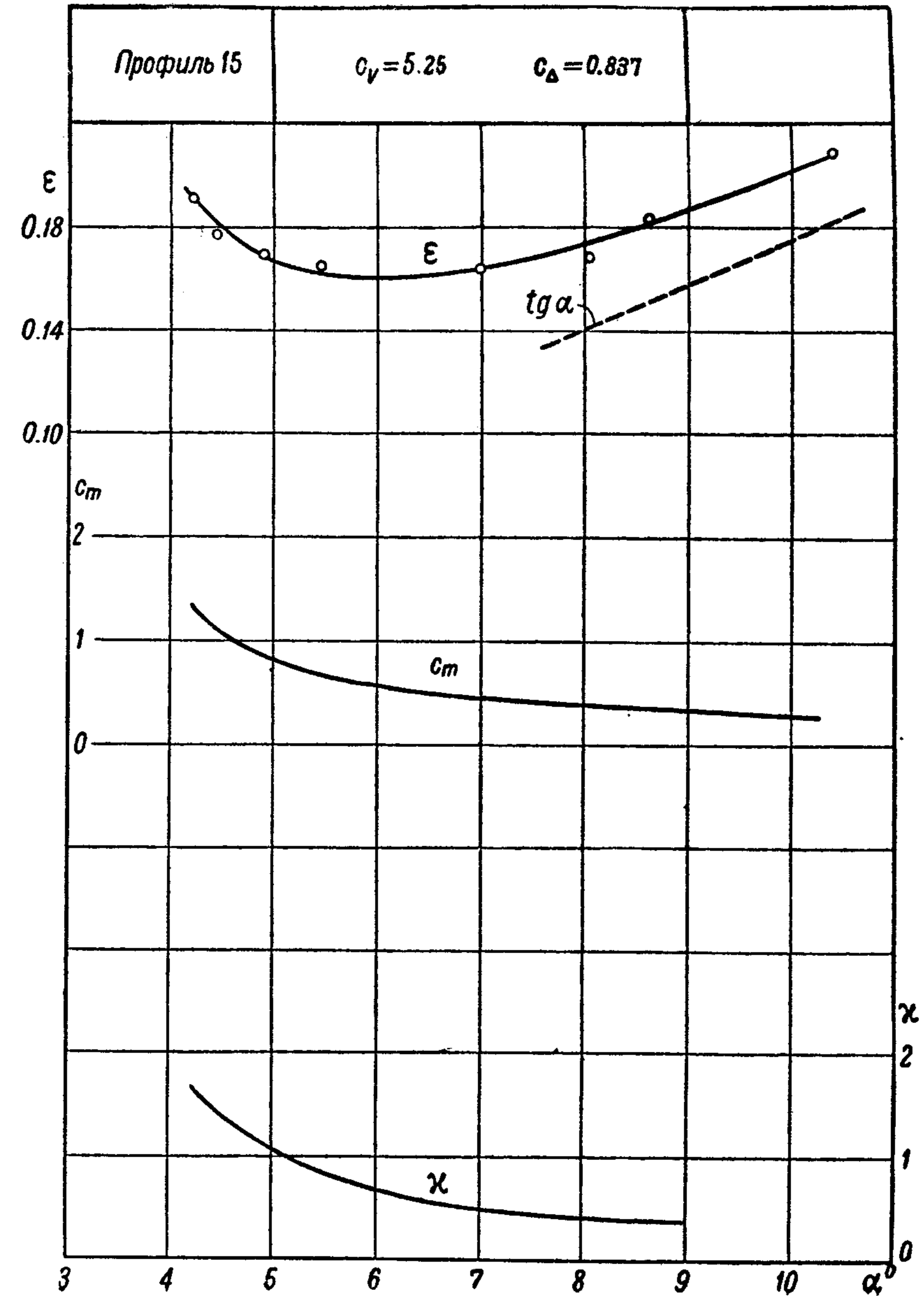
Фиг. 101



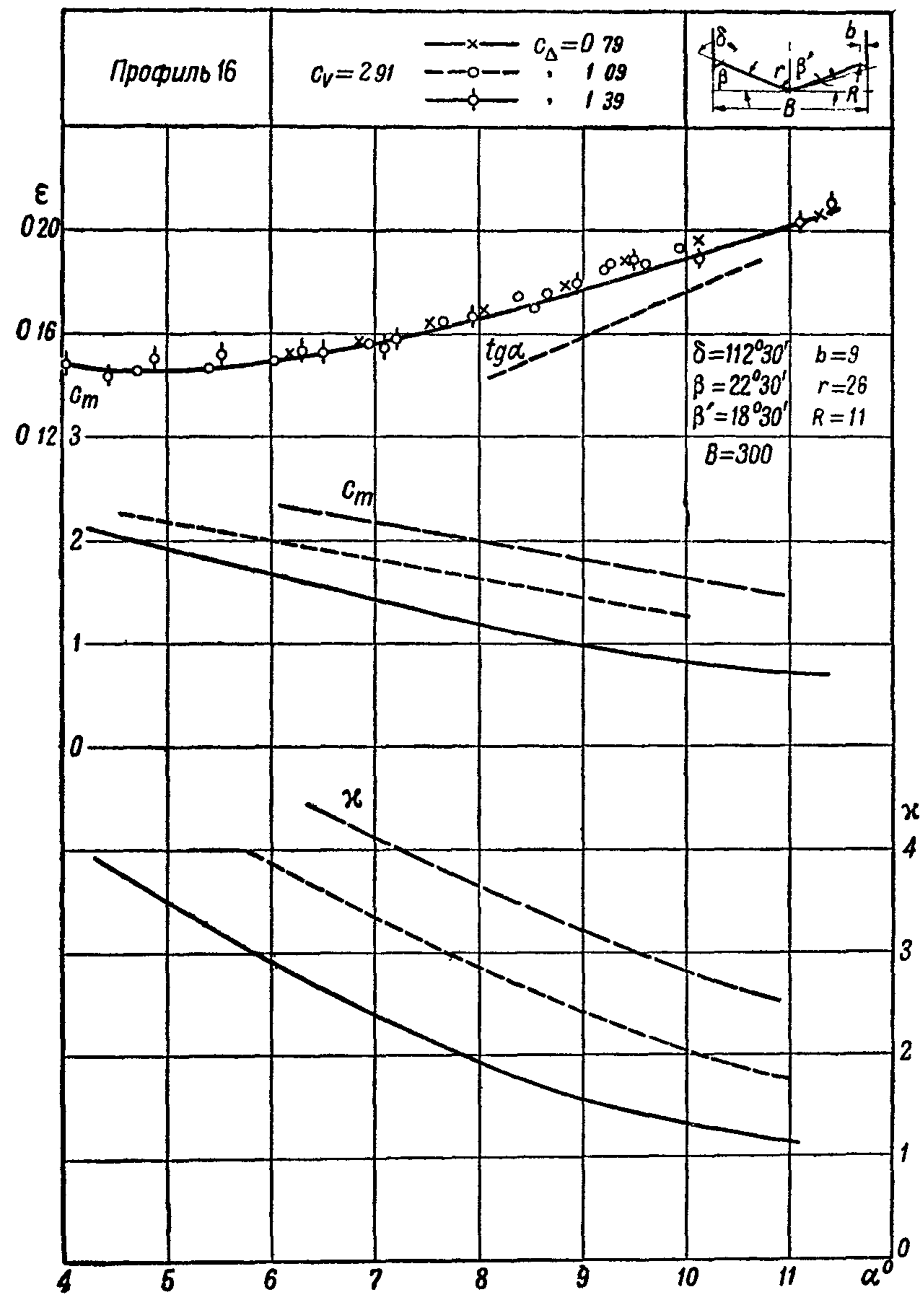
Фиг. 102



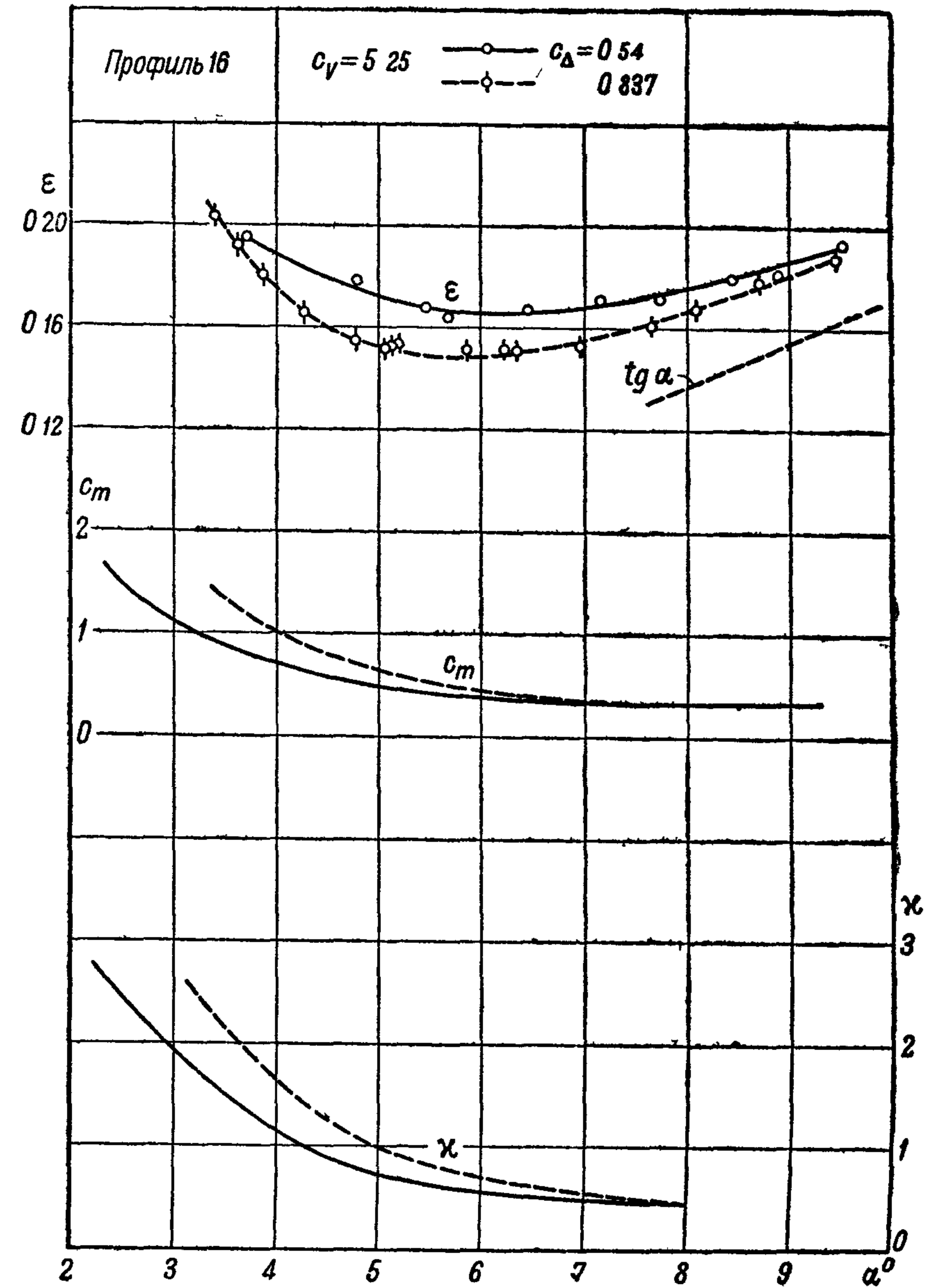
Фиг. 103



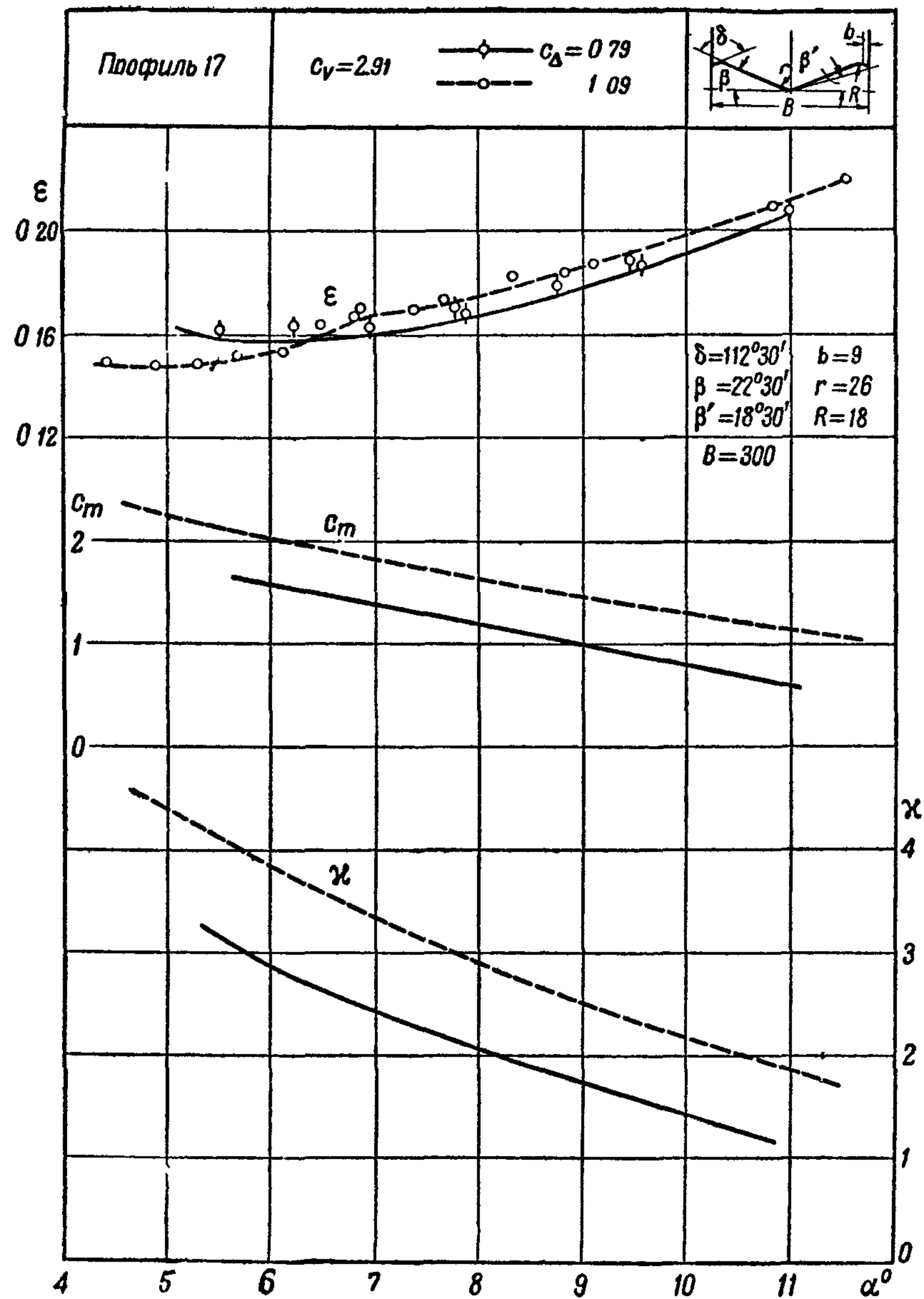
Фиг. 104



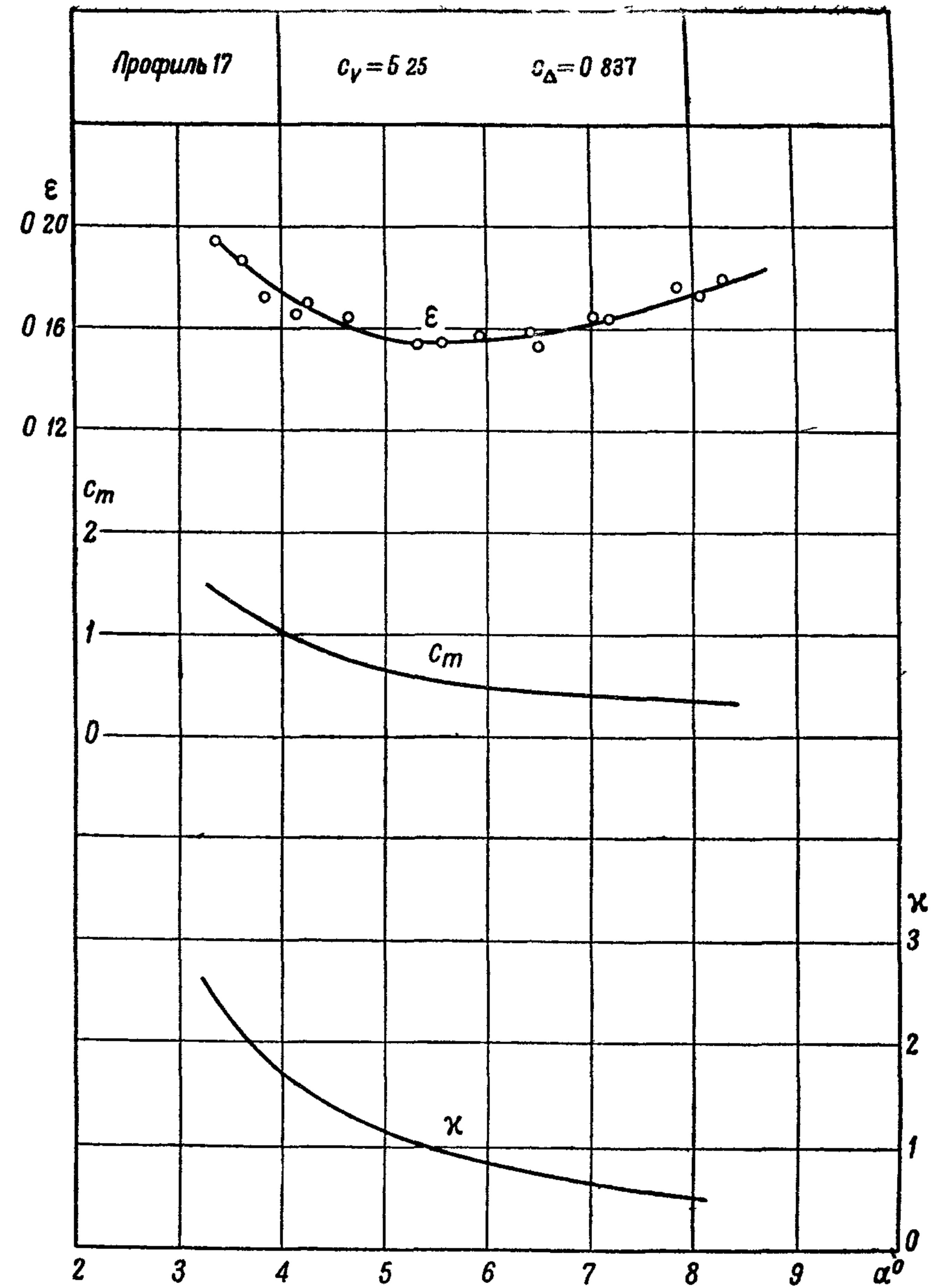
Фиг 105



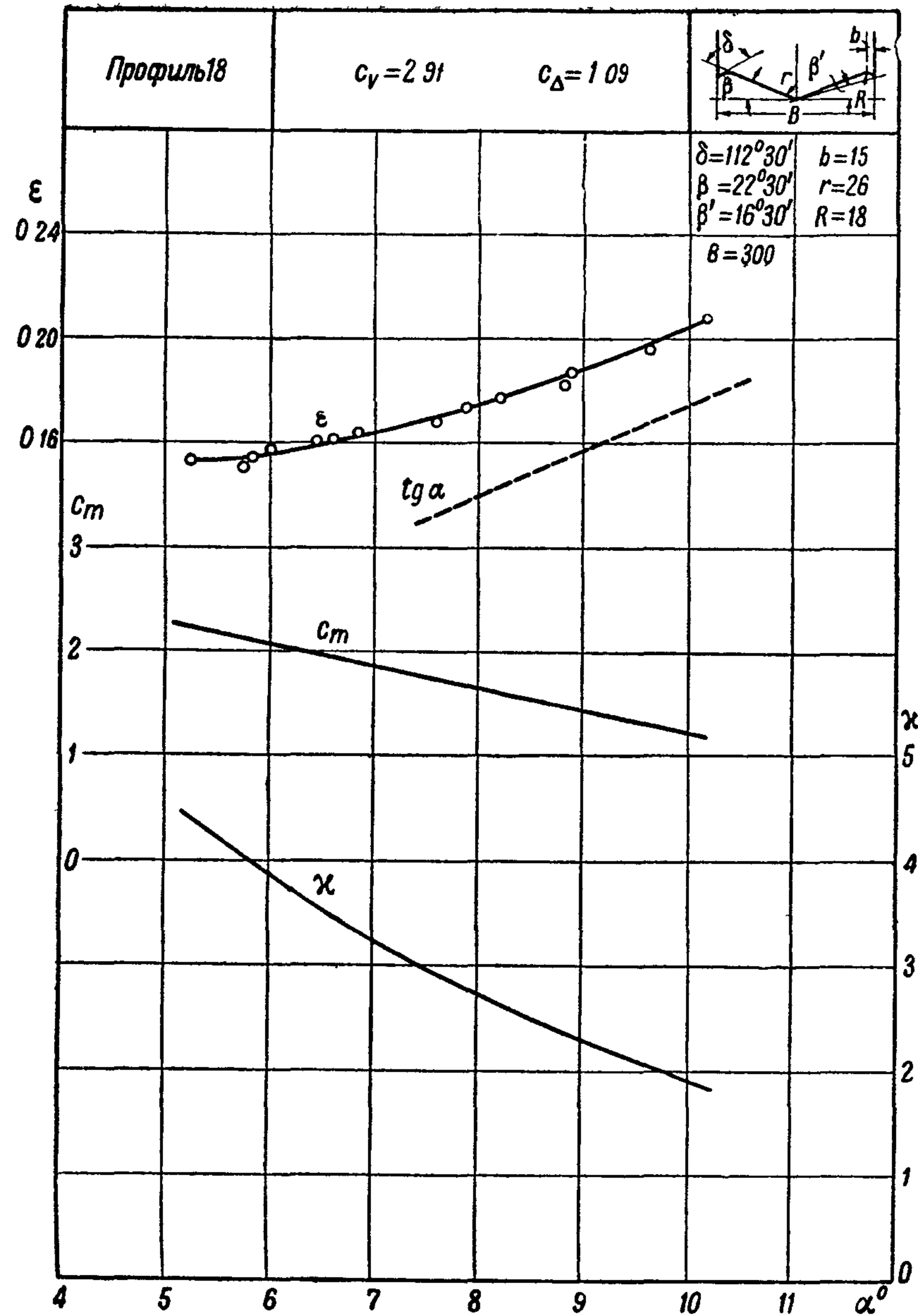
Фиг 106



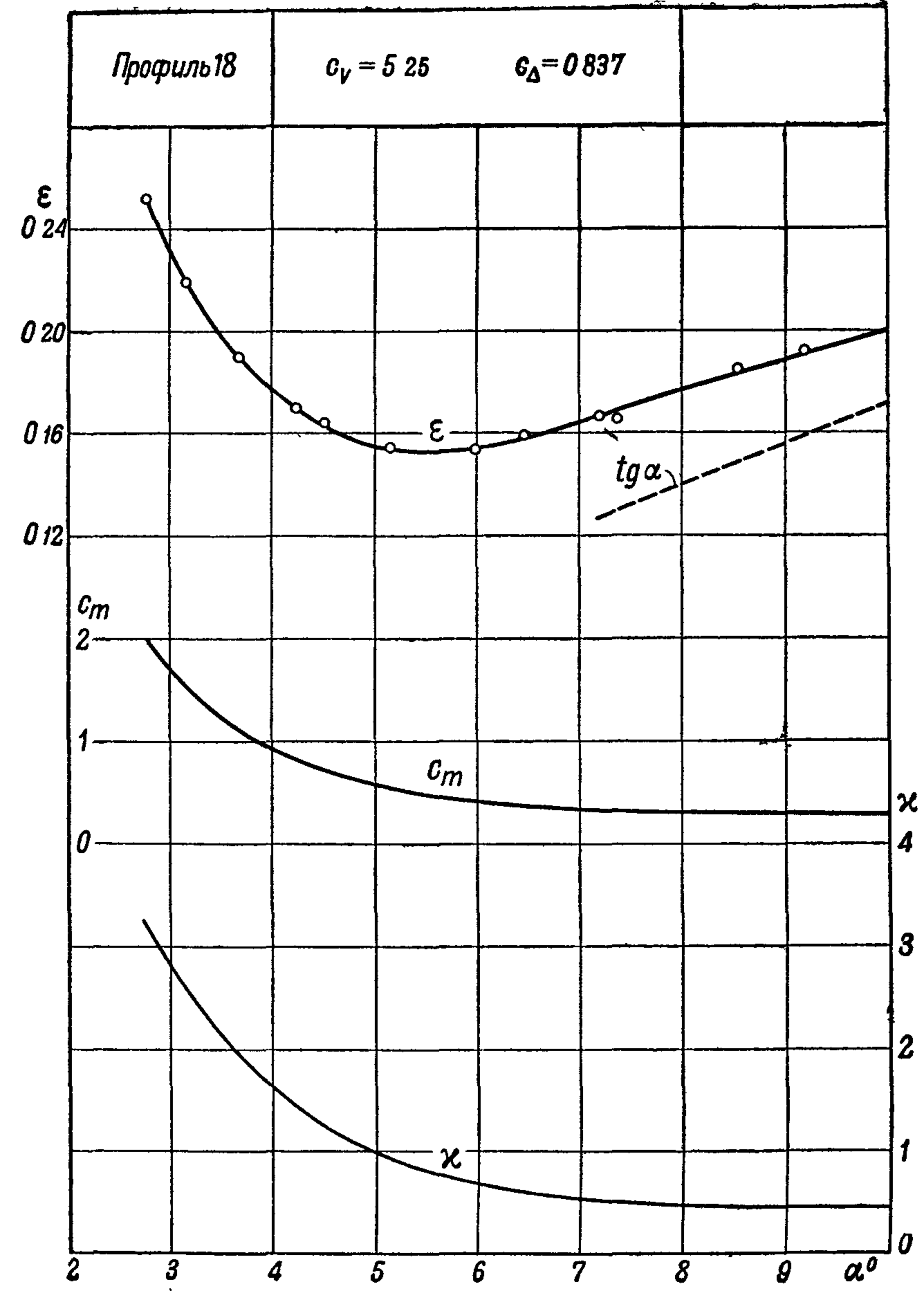
Фиг 107



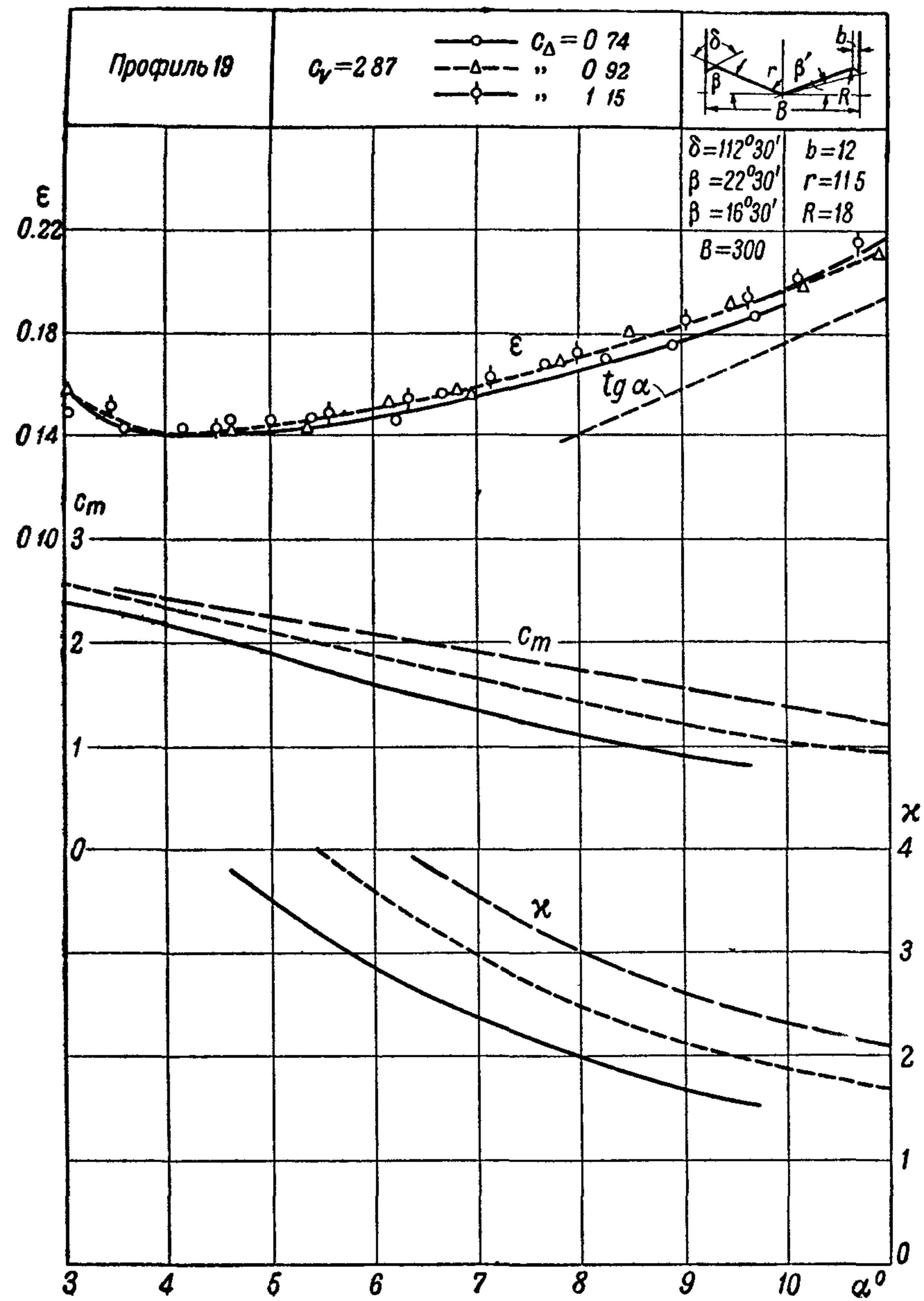
Фиг 108



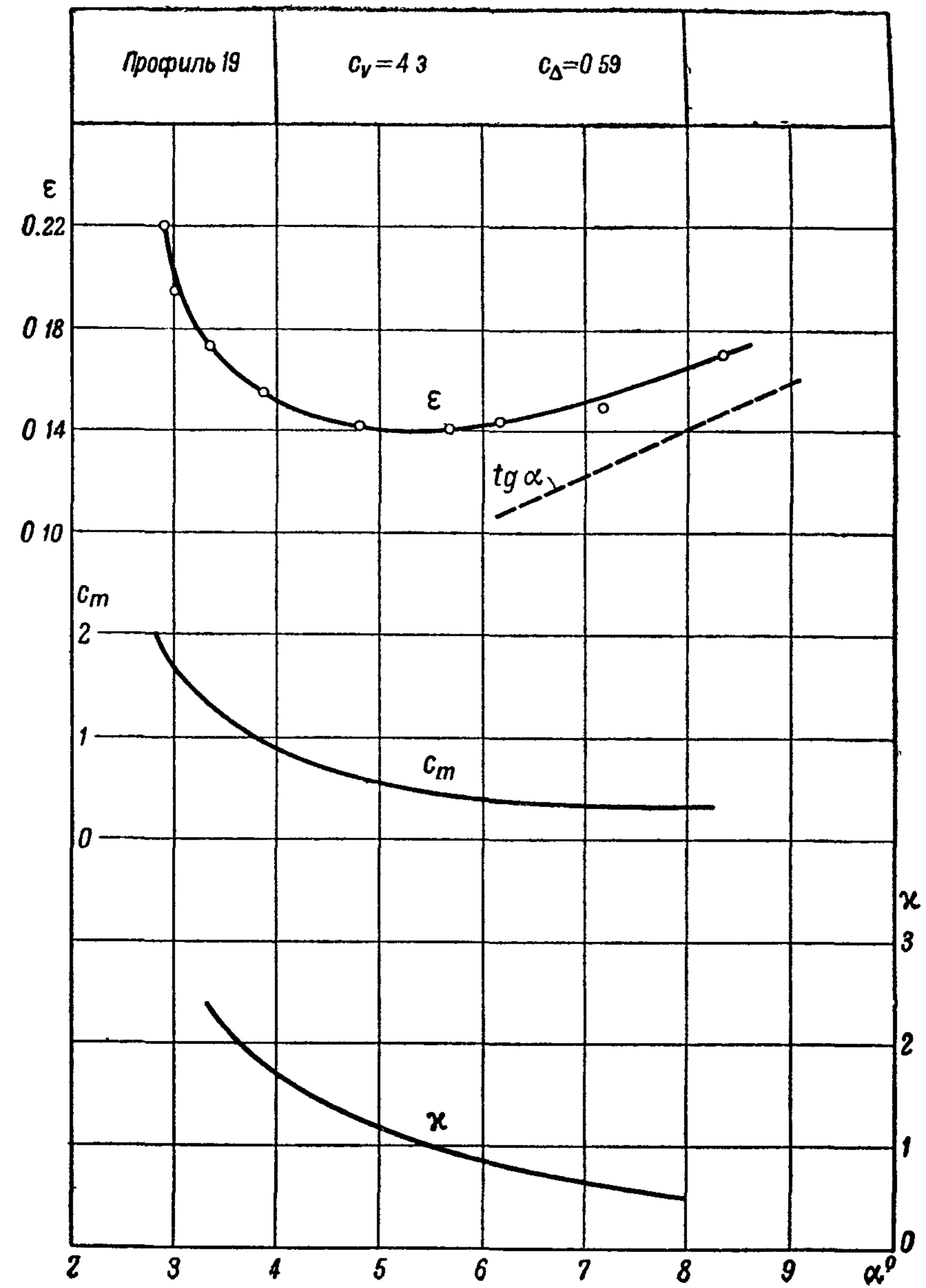
Фиг 109



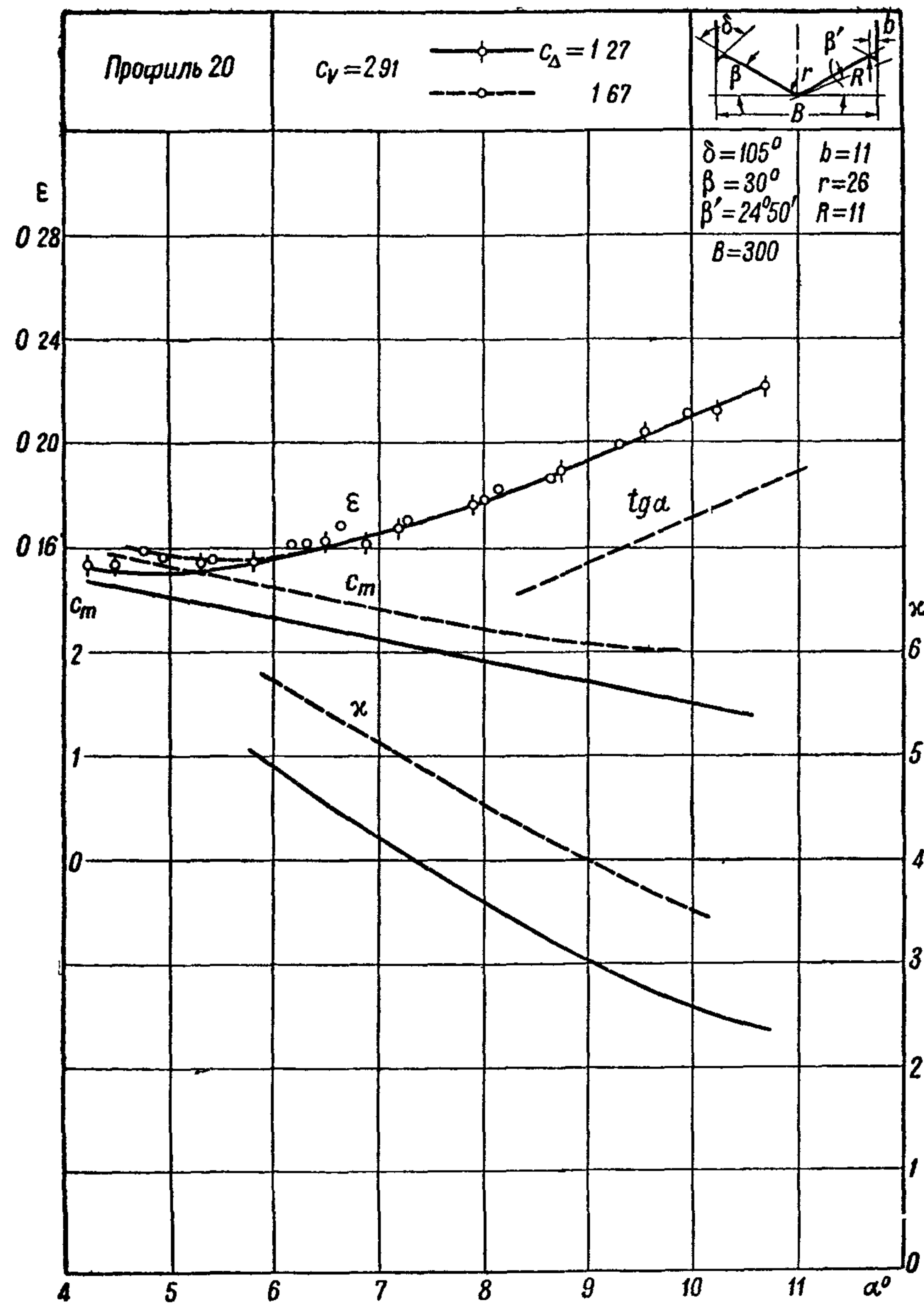
Фиг 110



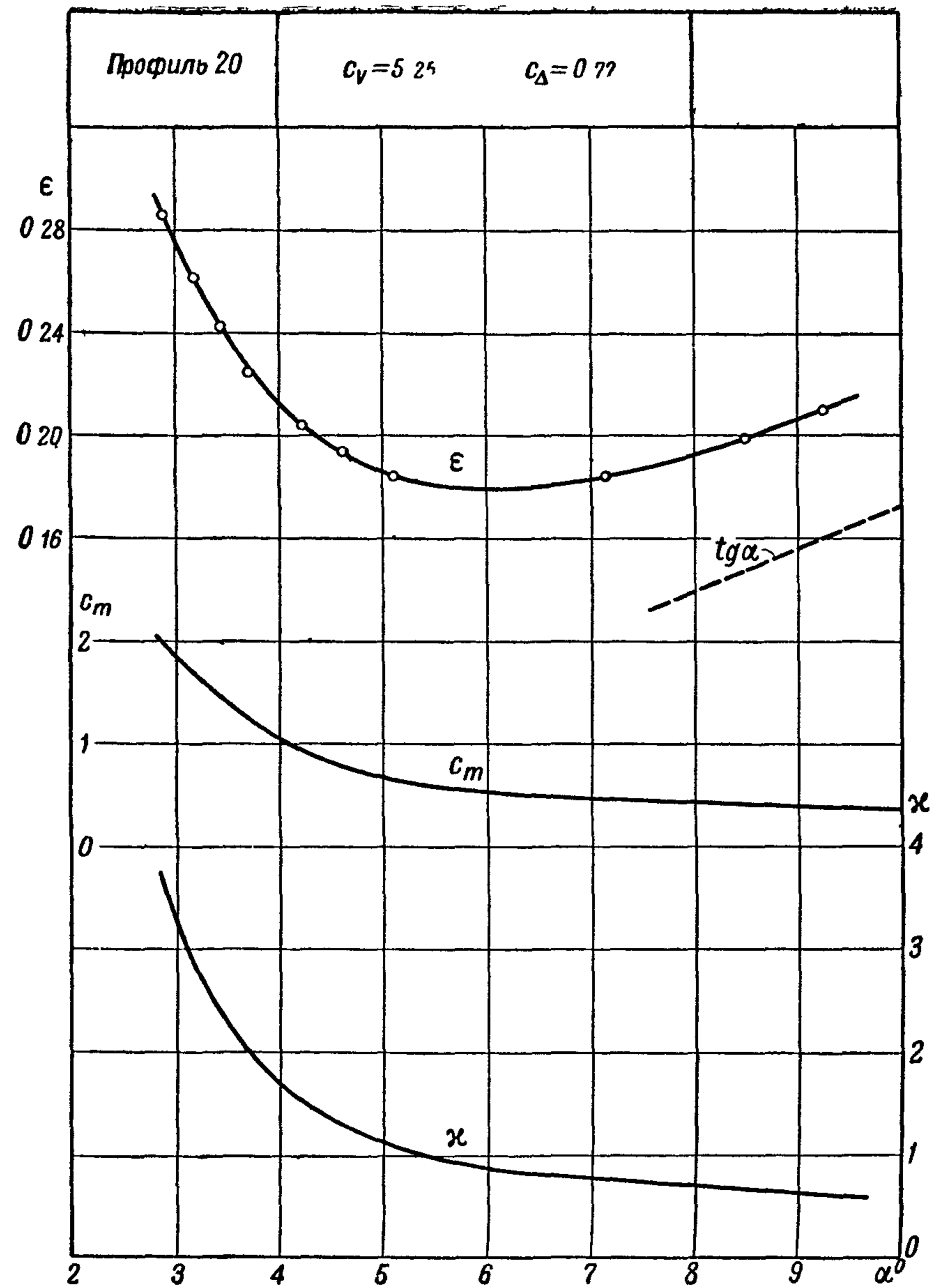
Фиг. 111



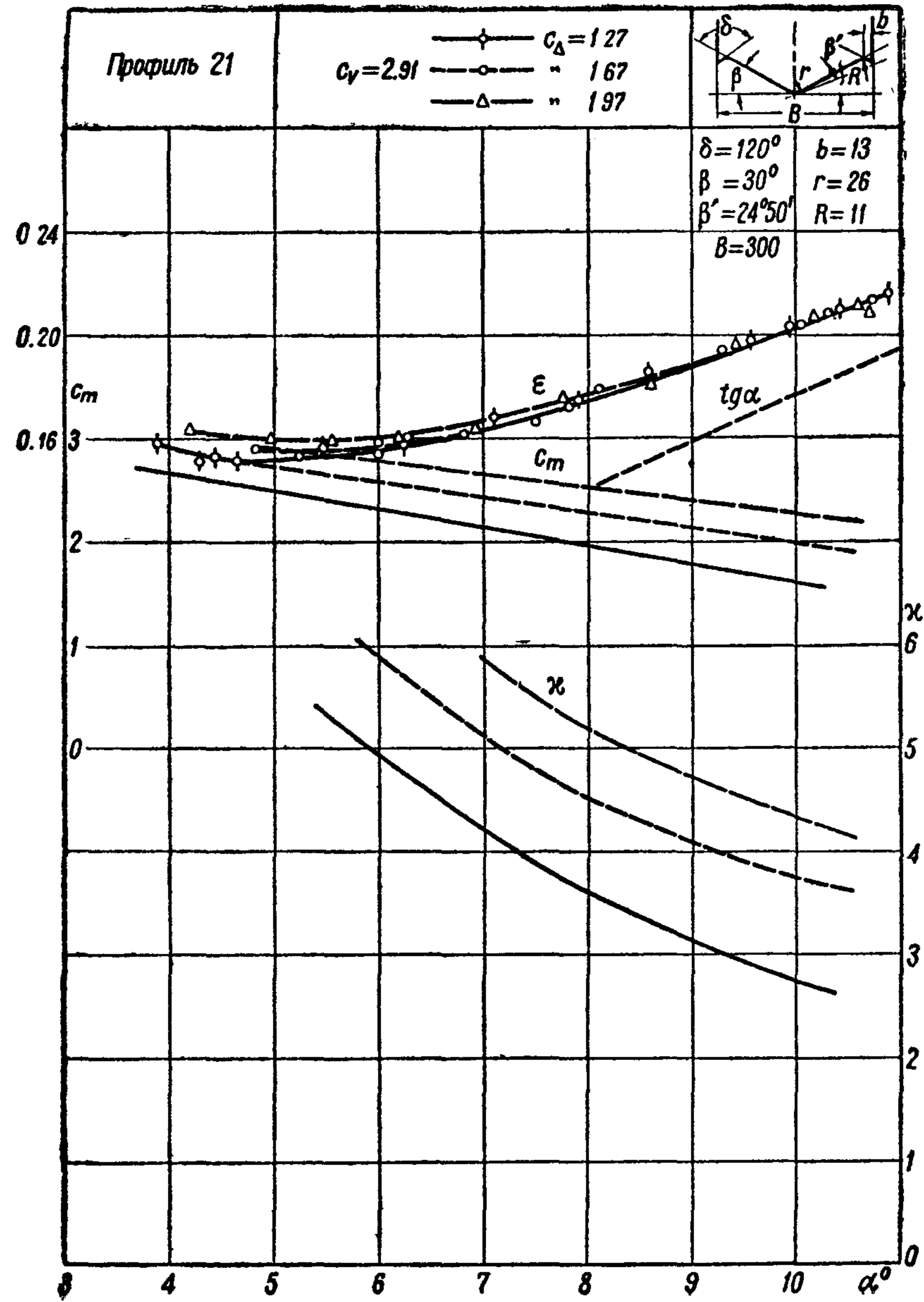
Фиг. 112



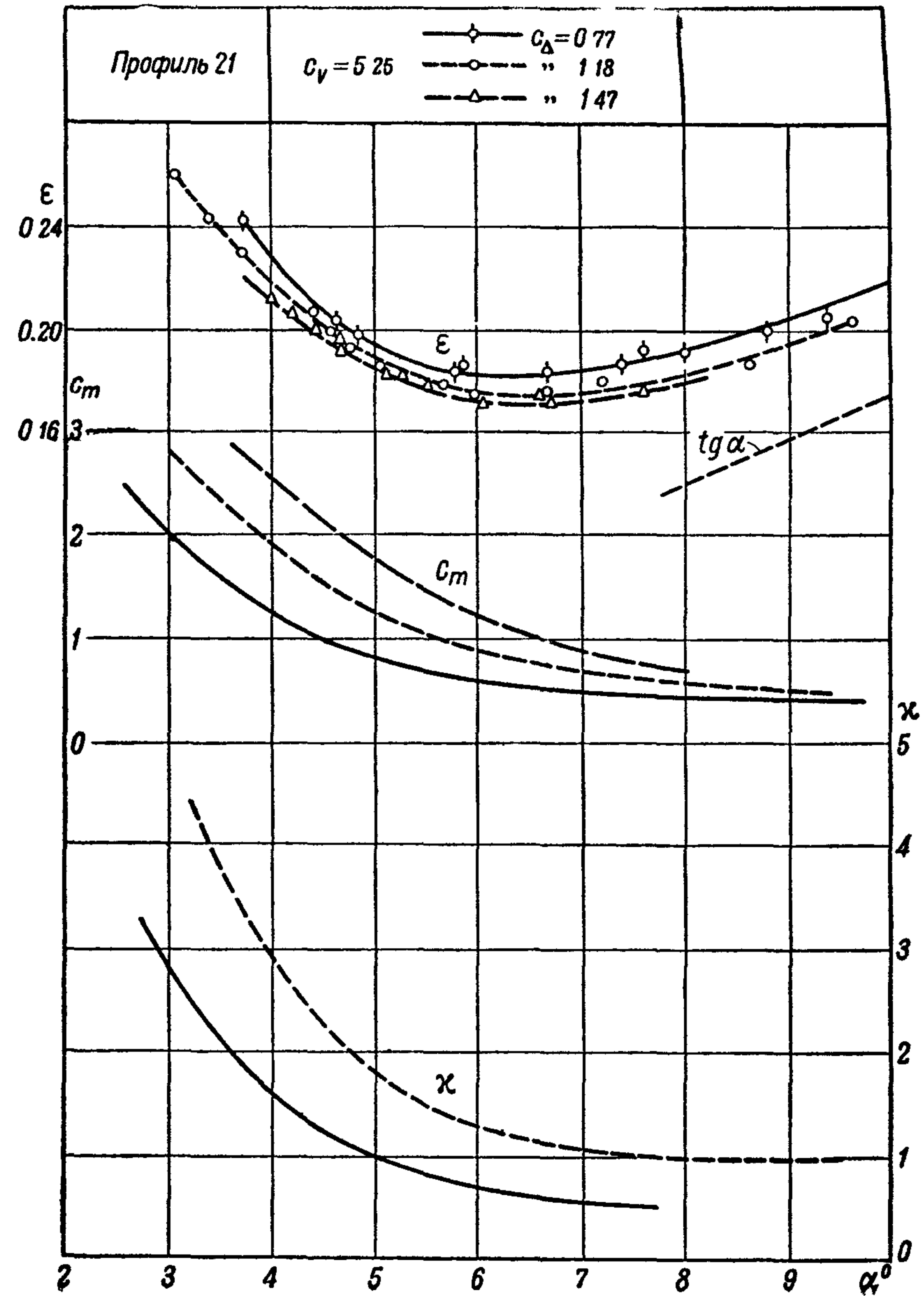
Фиг 113



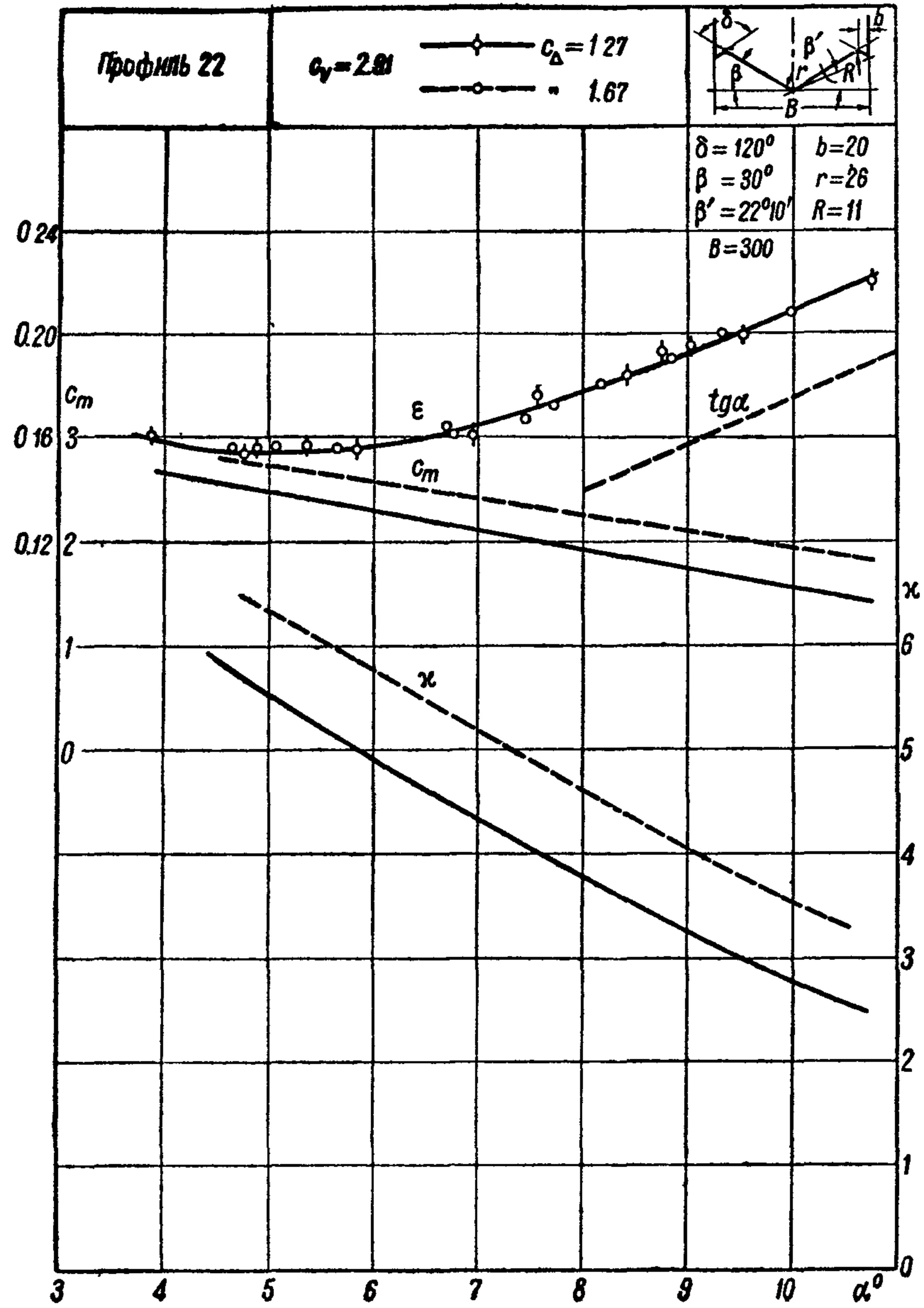
Фиг 114



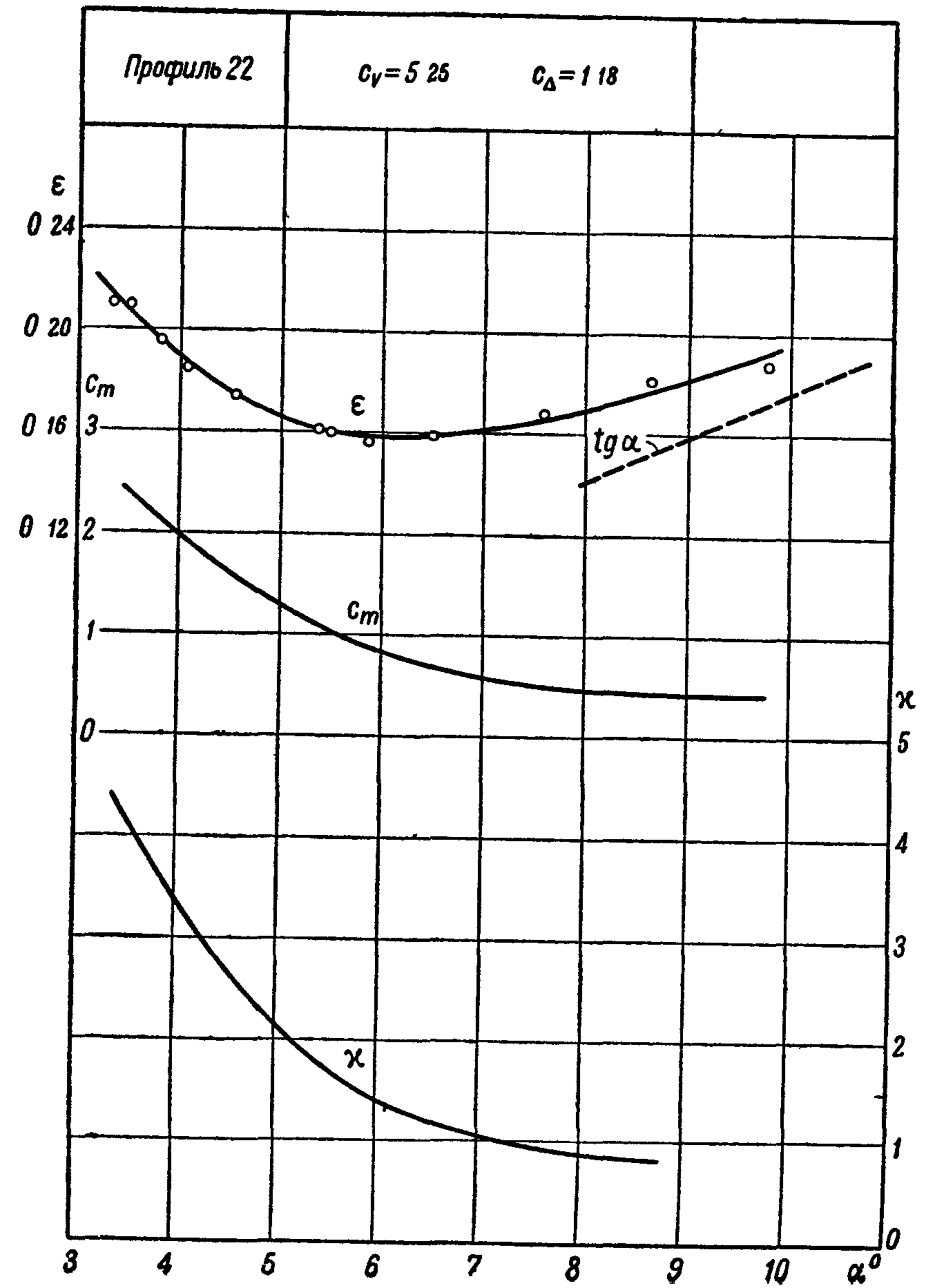
Фиг. 115



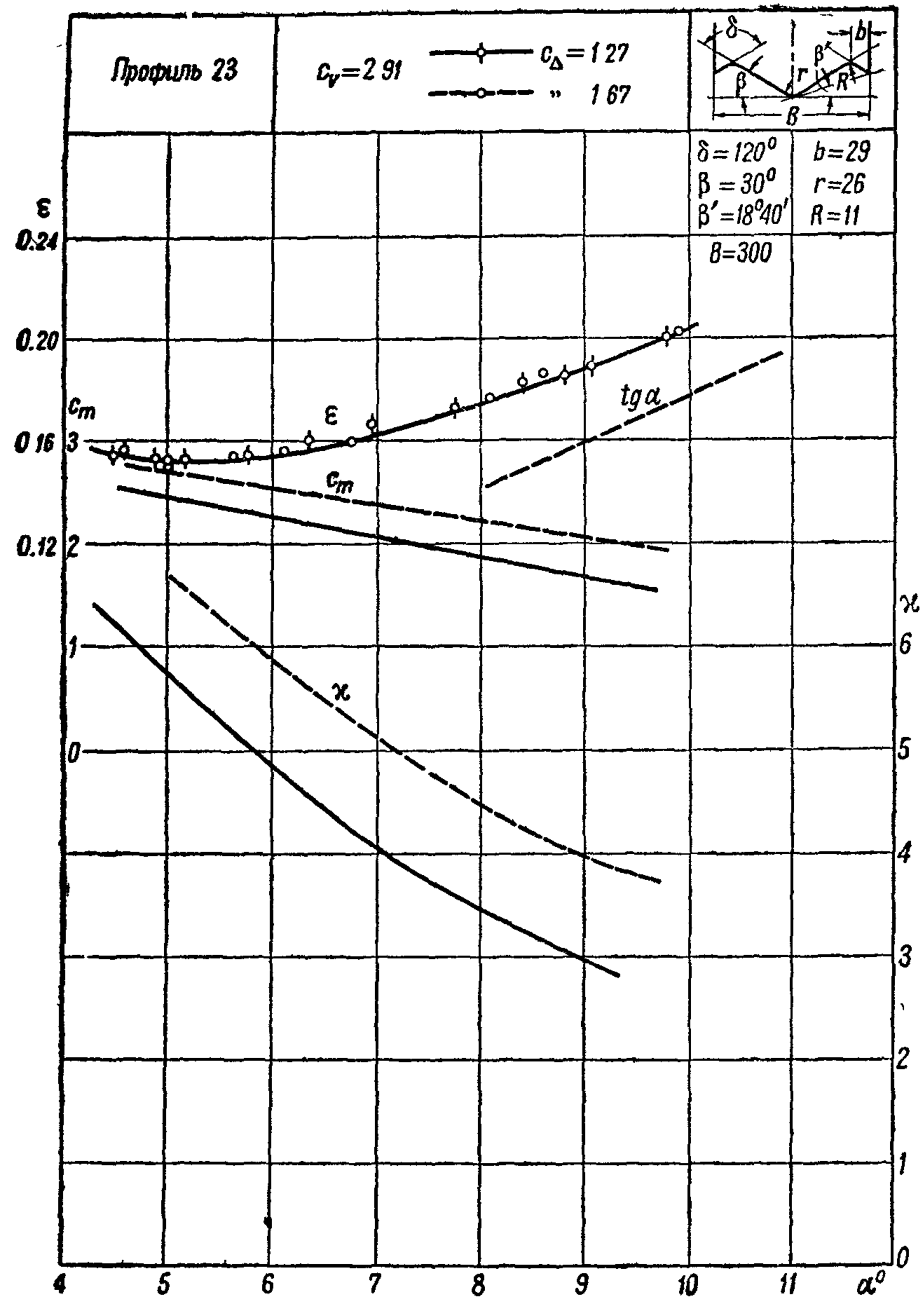
Фиг. 116



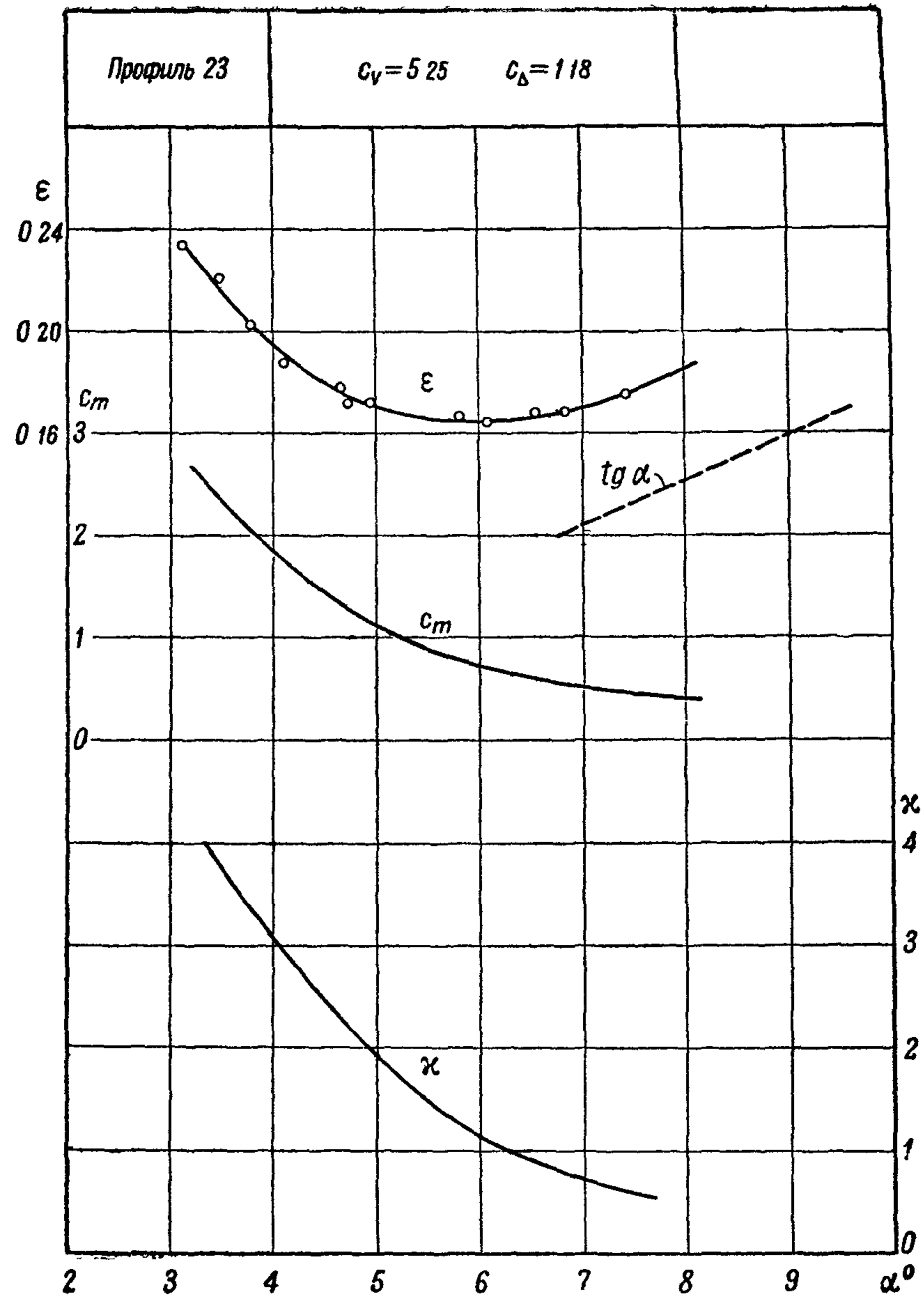
Фиг 117



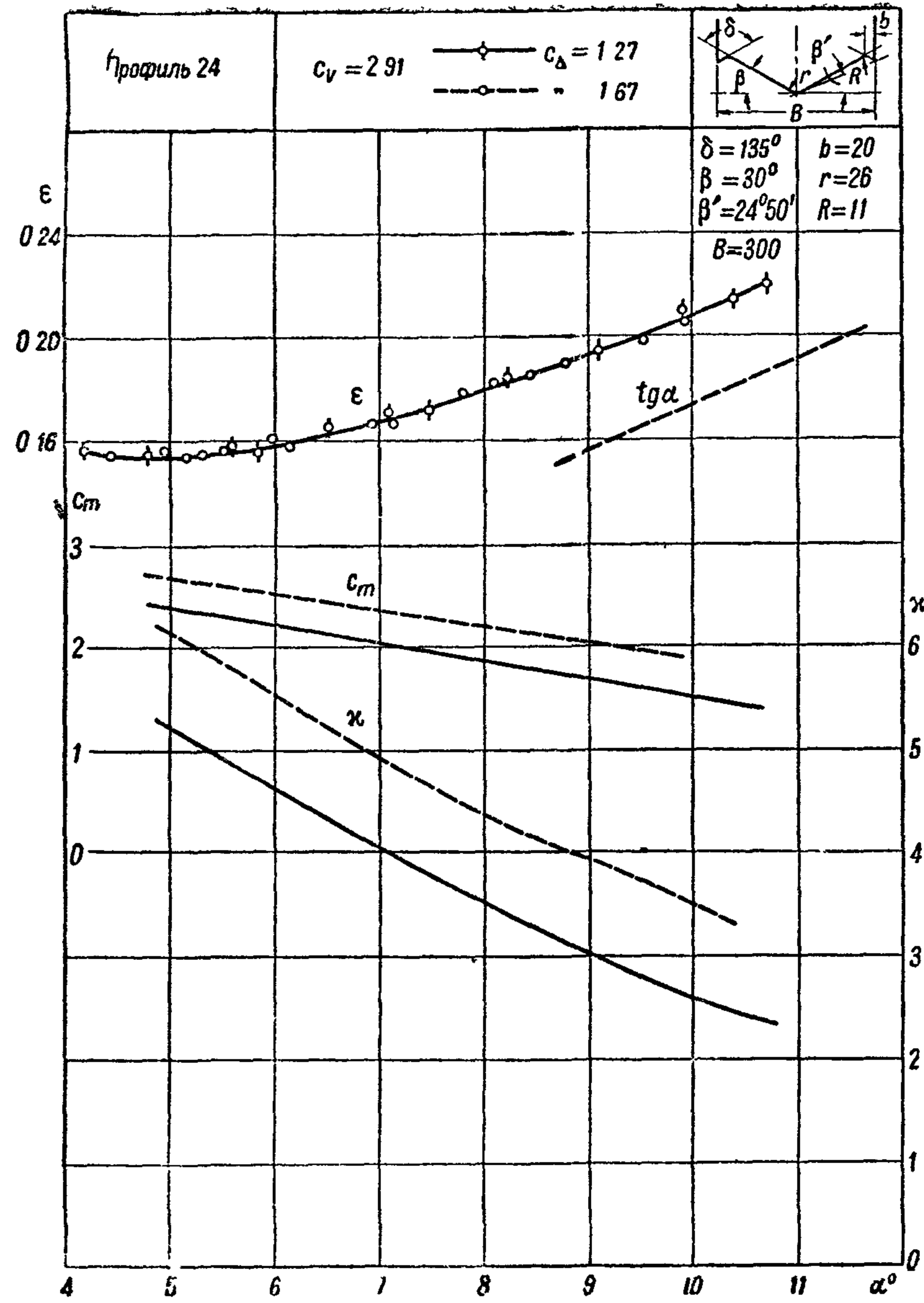
Фиг 118



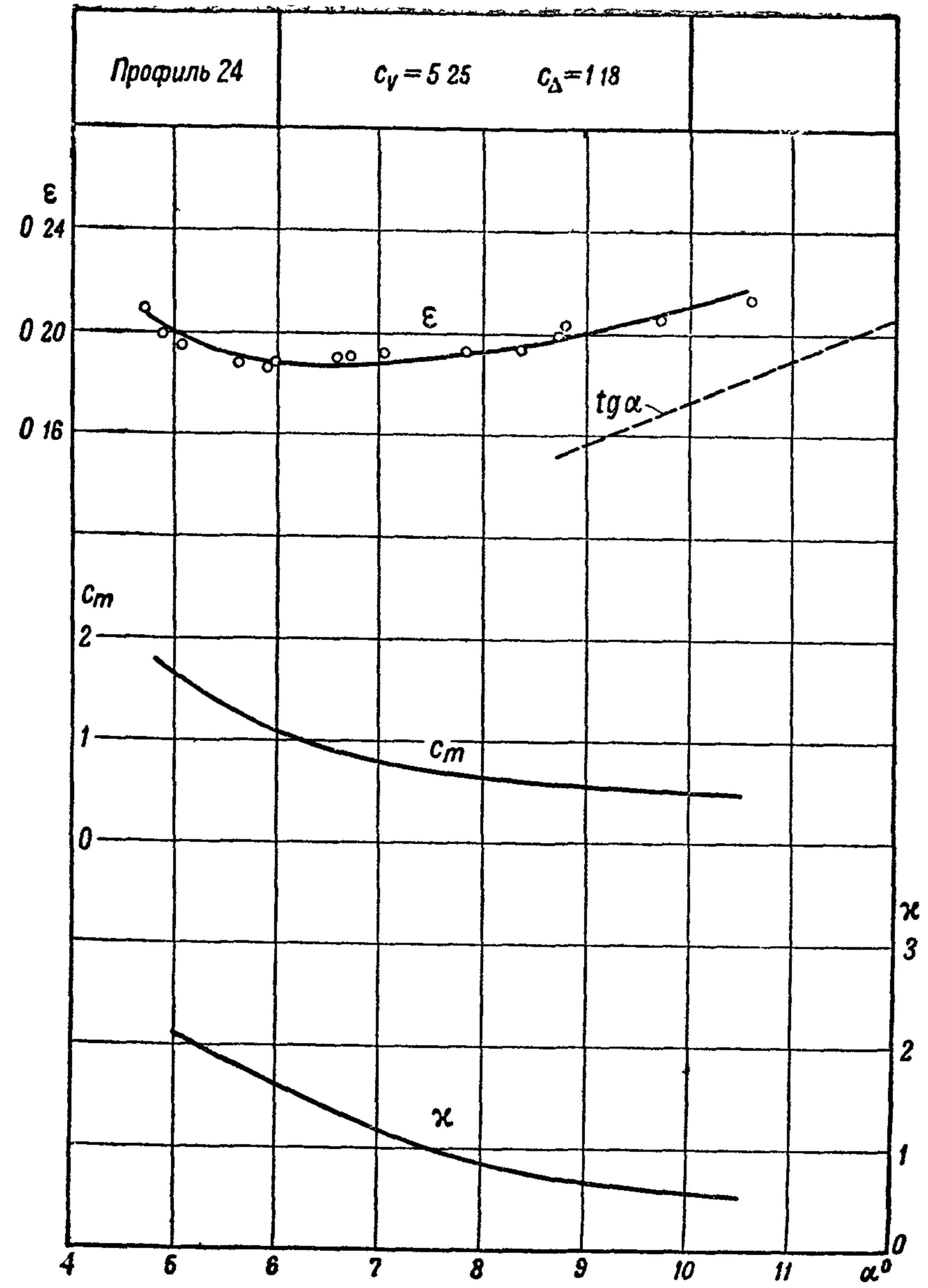
Фиг. 119



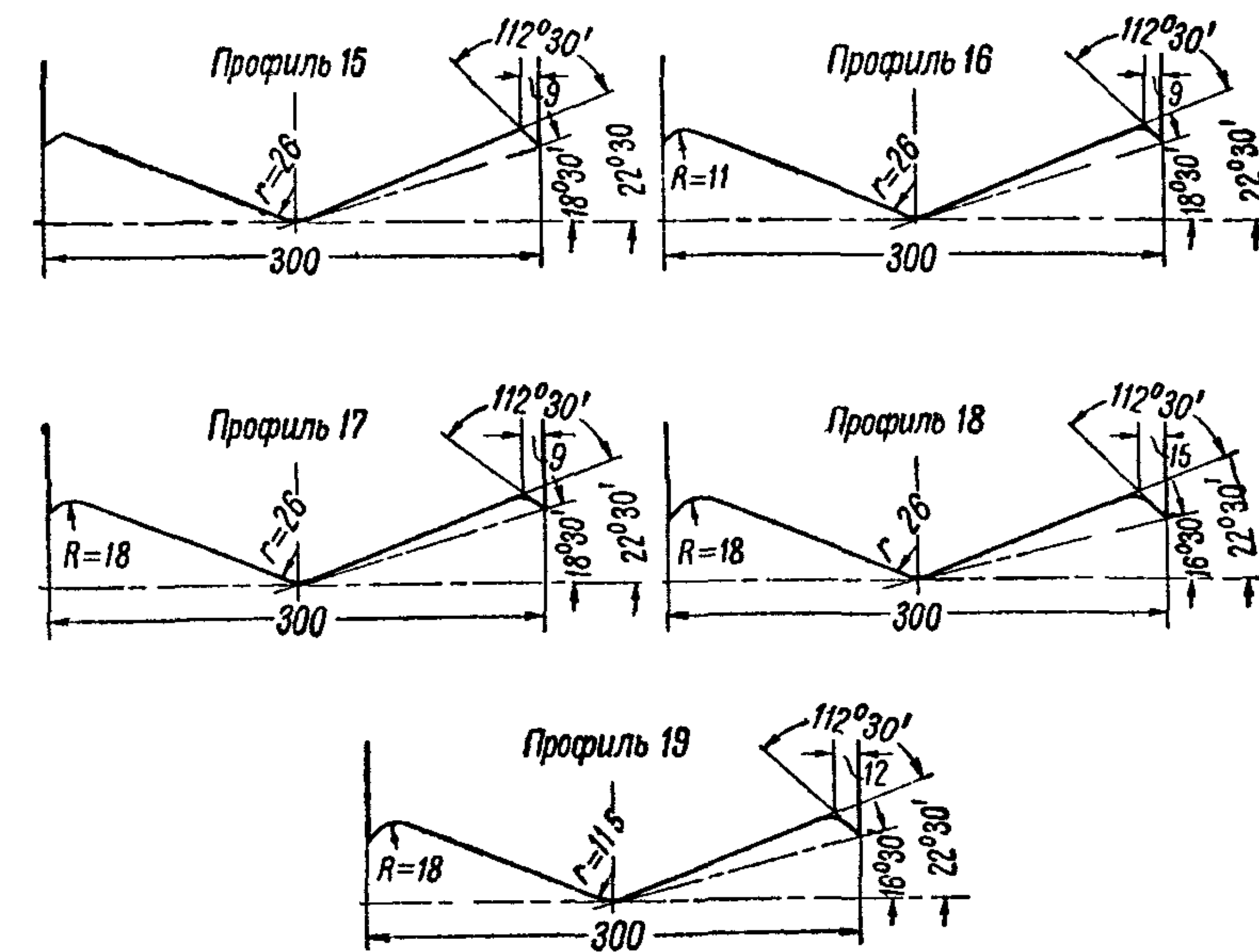
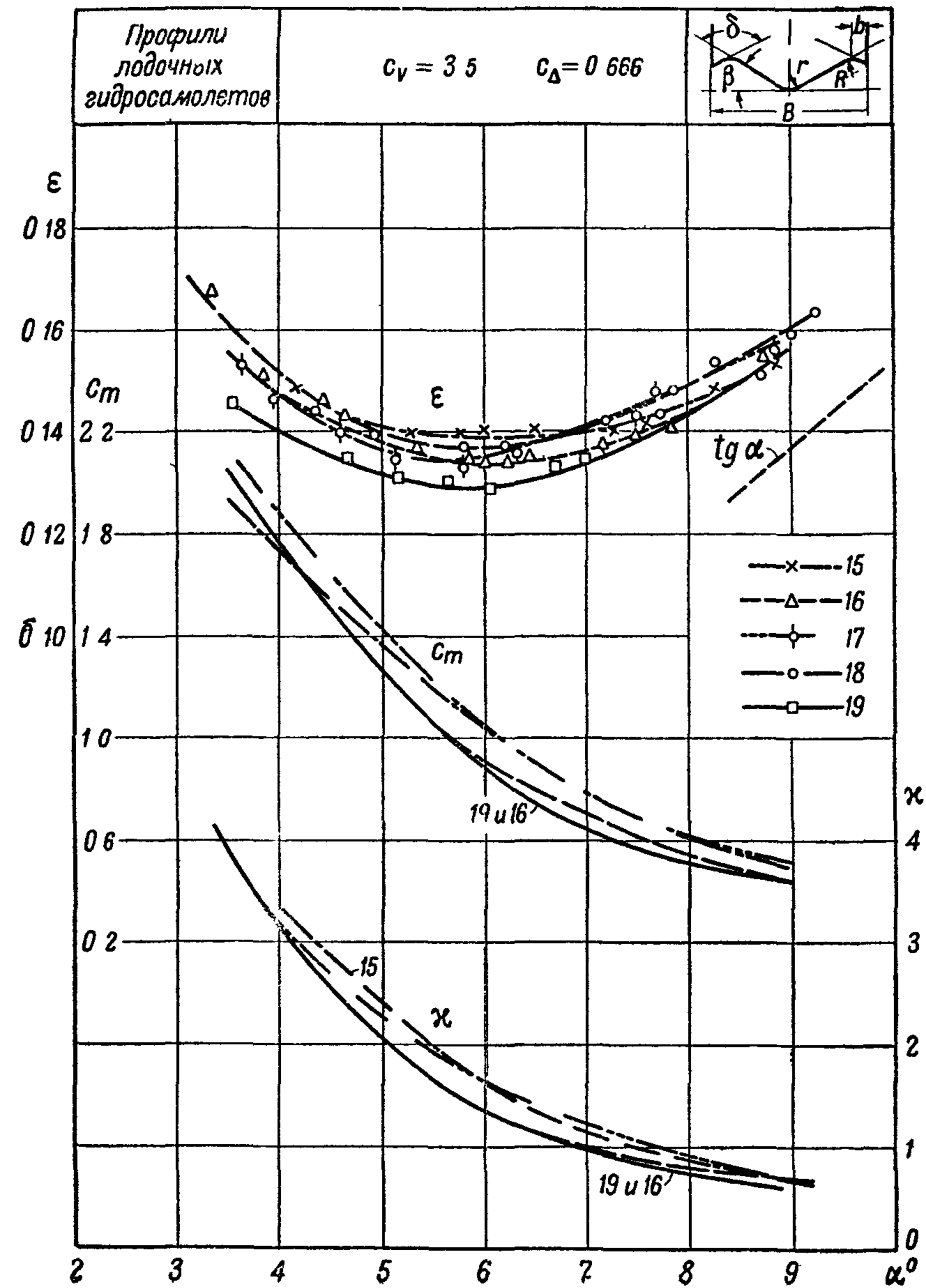
Фиг. 120



Фиг 121

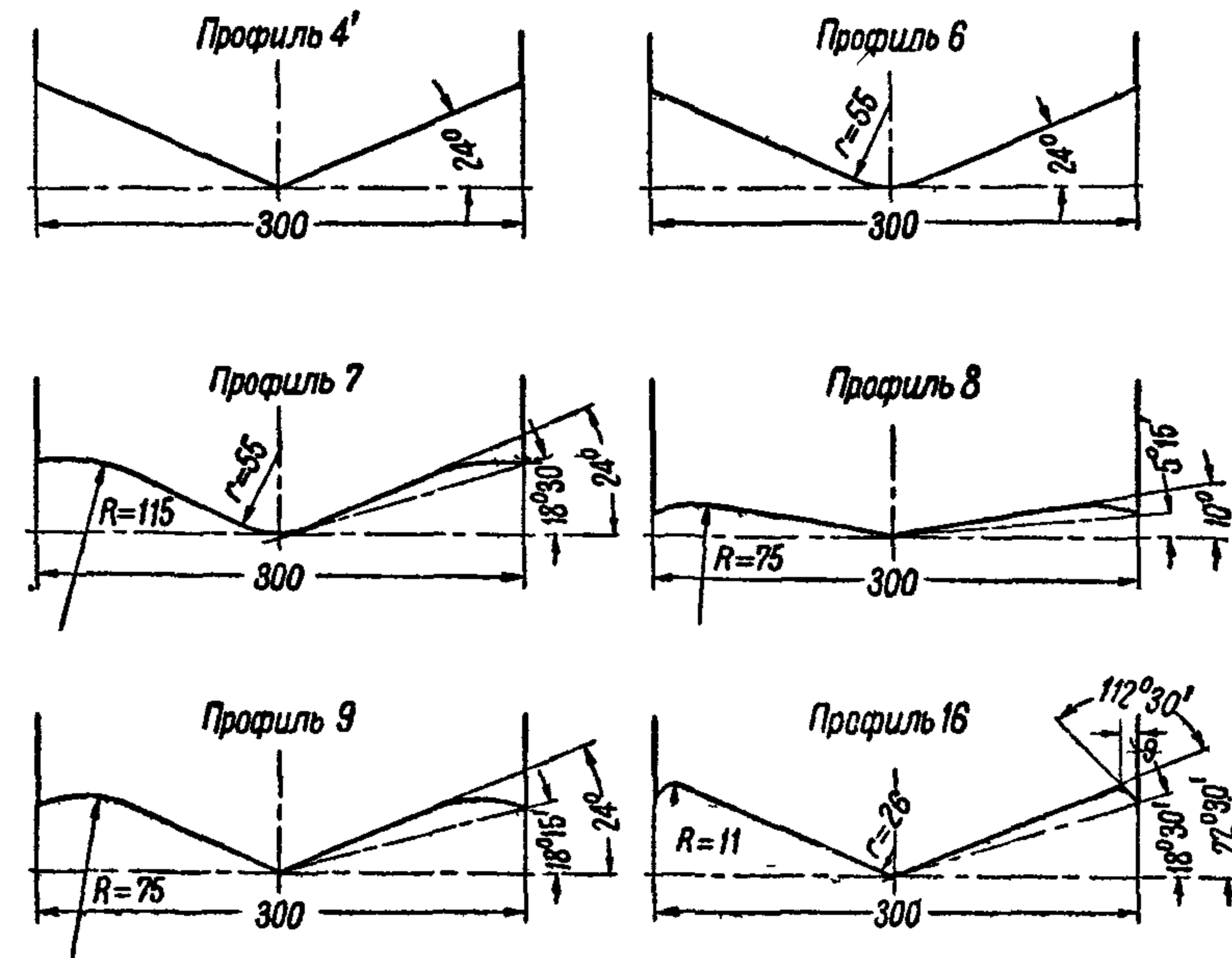
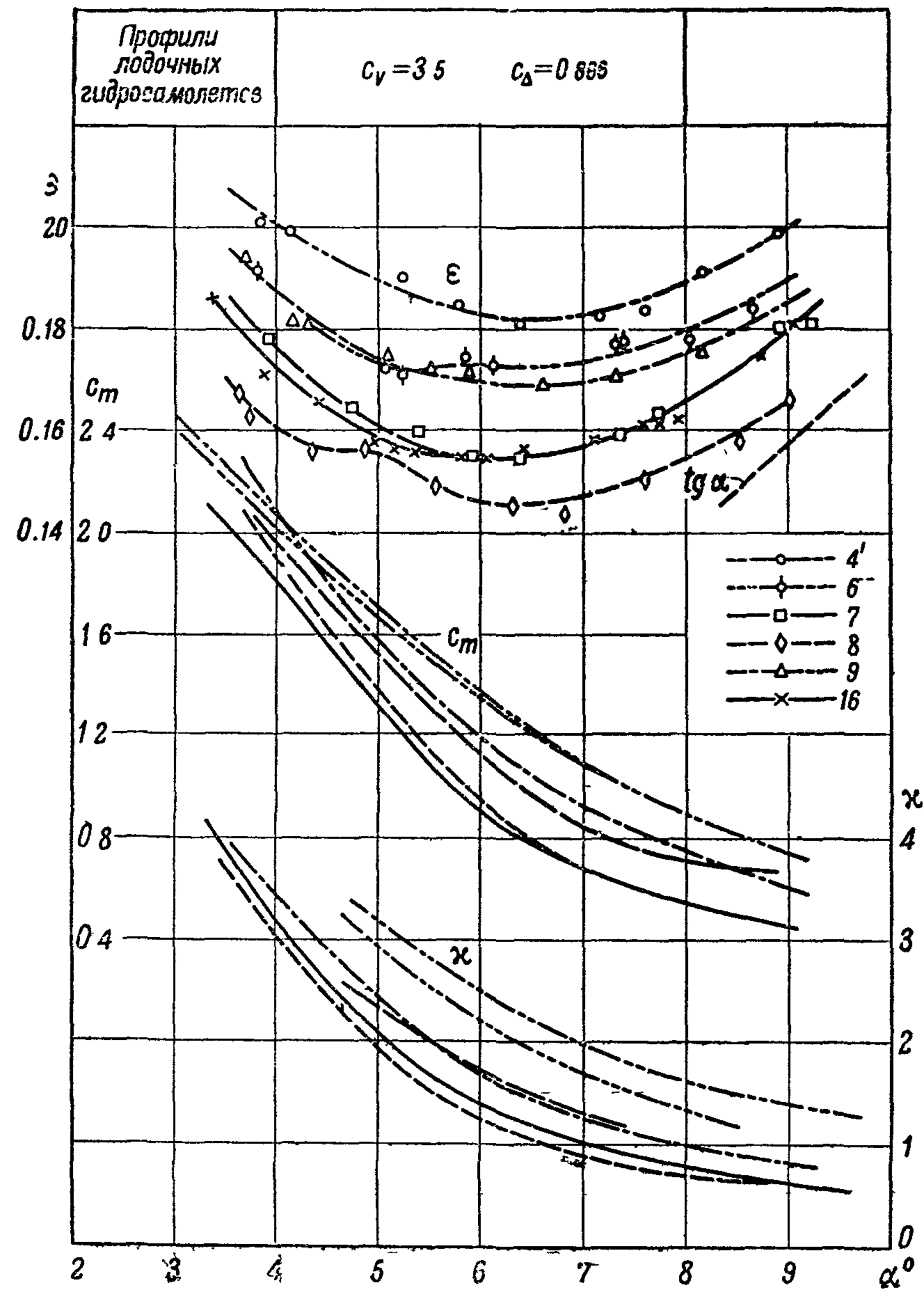


Фиг 122



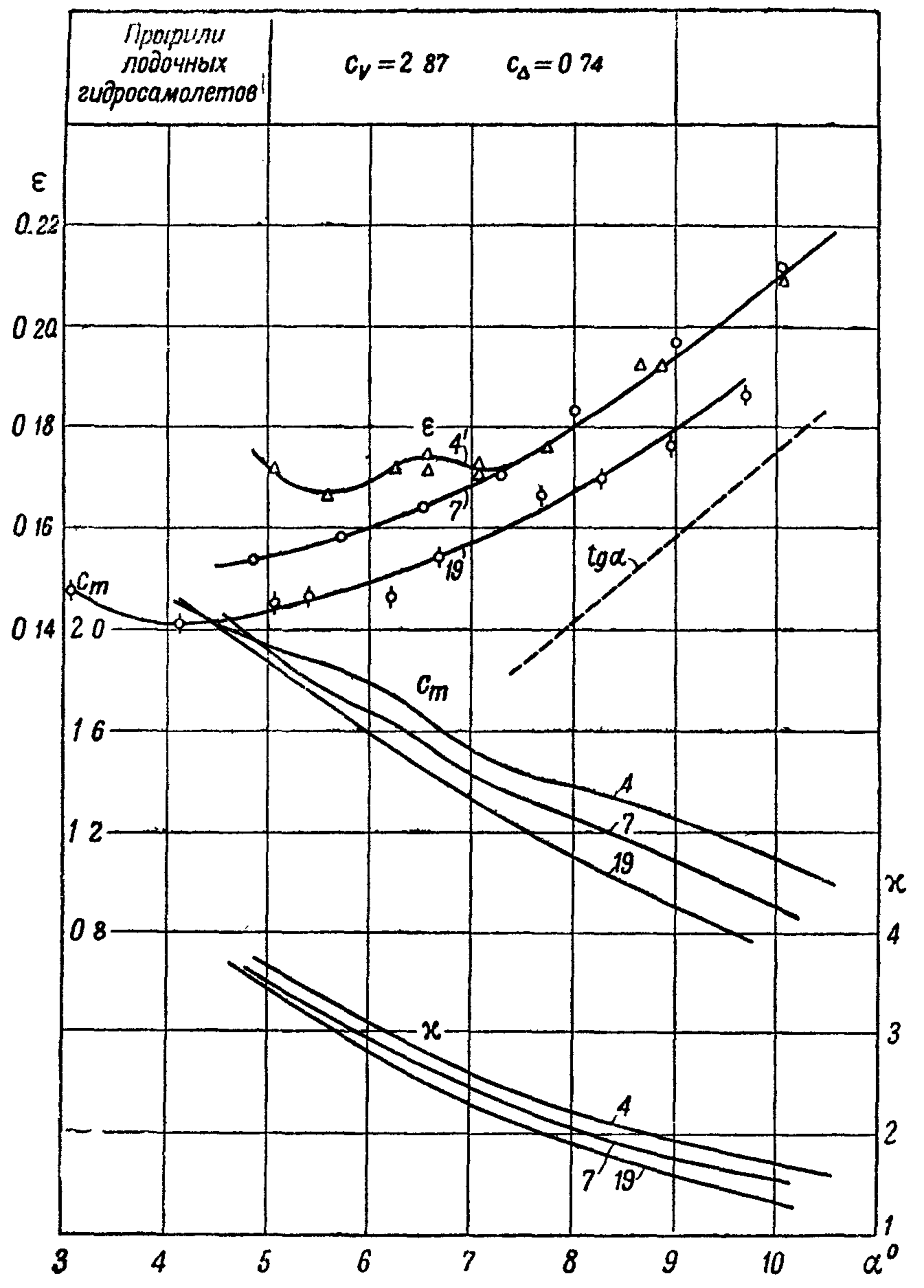
На фиг 123 приводится сравнение профилей с различными скульовыми накладками. Небольшие изменения в форме профиля, проводимые в пределах рассматриваемого семейства, не дают сколько-нибудь значительного изменения гидродинамических характеристик. В некоторых случаях изменения гидродинамических характеристик лежат в пределах точности эксперимента. Лучшим профилем из серии профилей со скульовыми накладками является профиль № 19.

Фиг 123

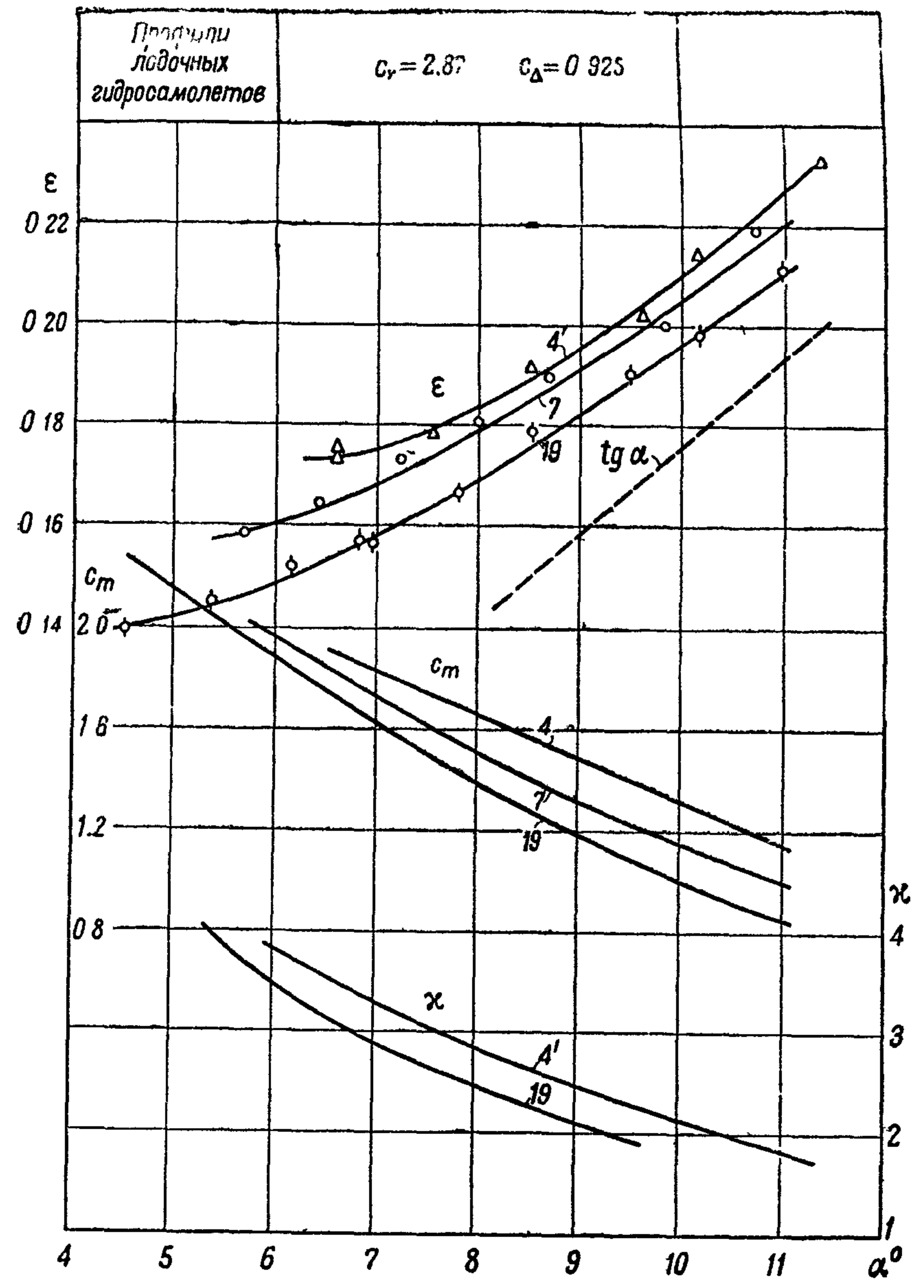


Следует обратить внимание на профиль № 16, приближающийся по своим гидродинамическим характеристикам к плоской пластине

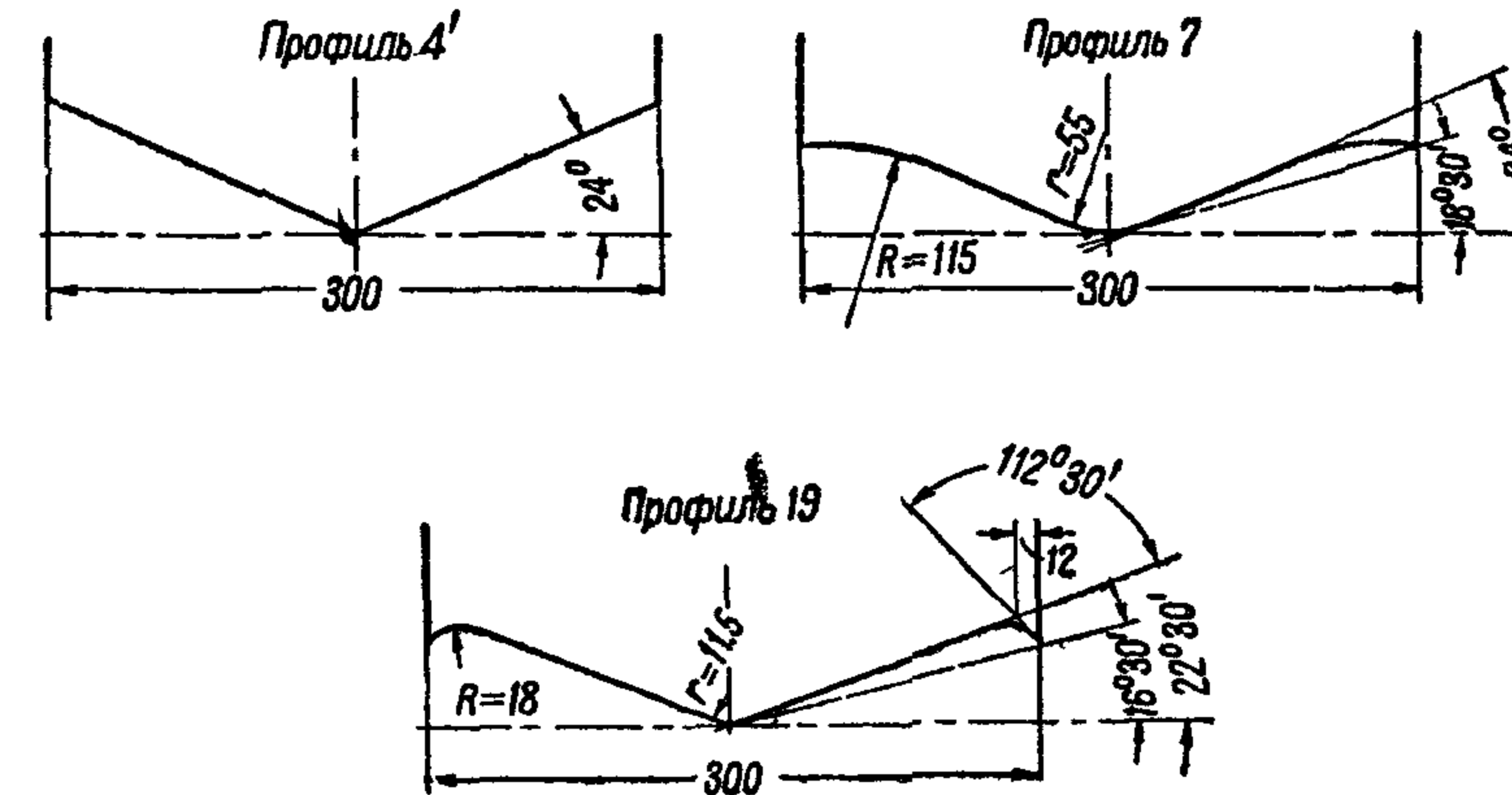
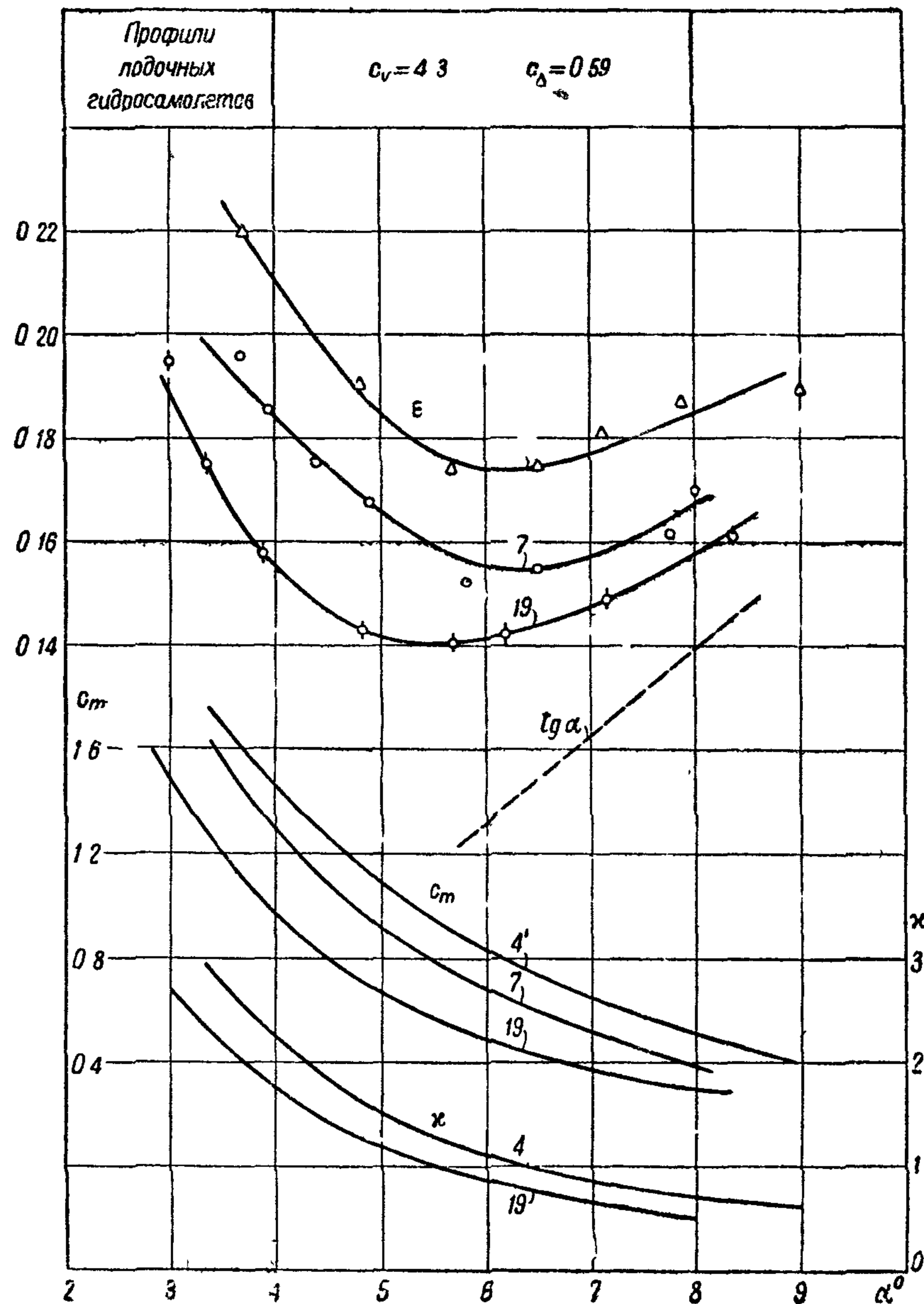
Фиг 2



Фиг. 125



Фиг. 126

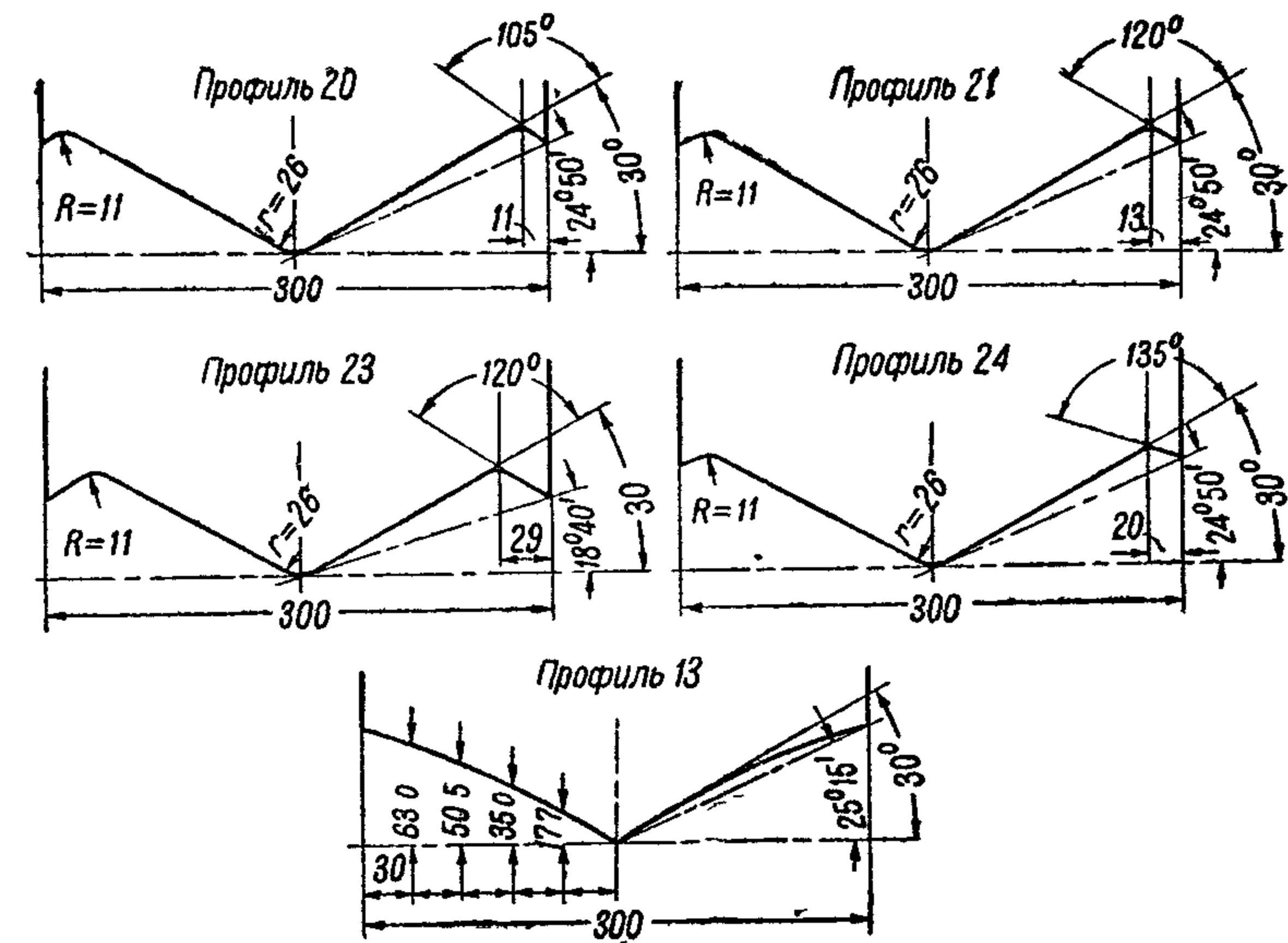
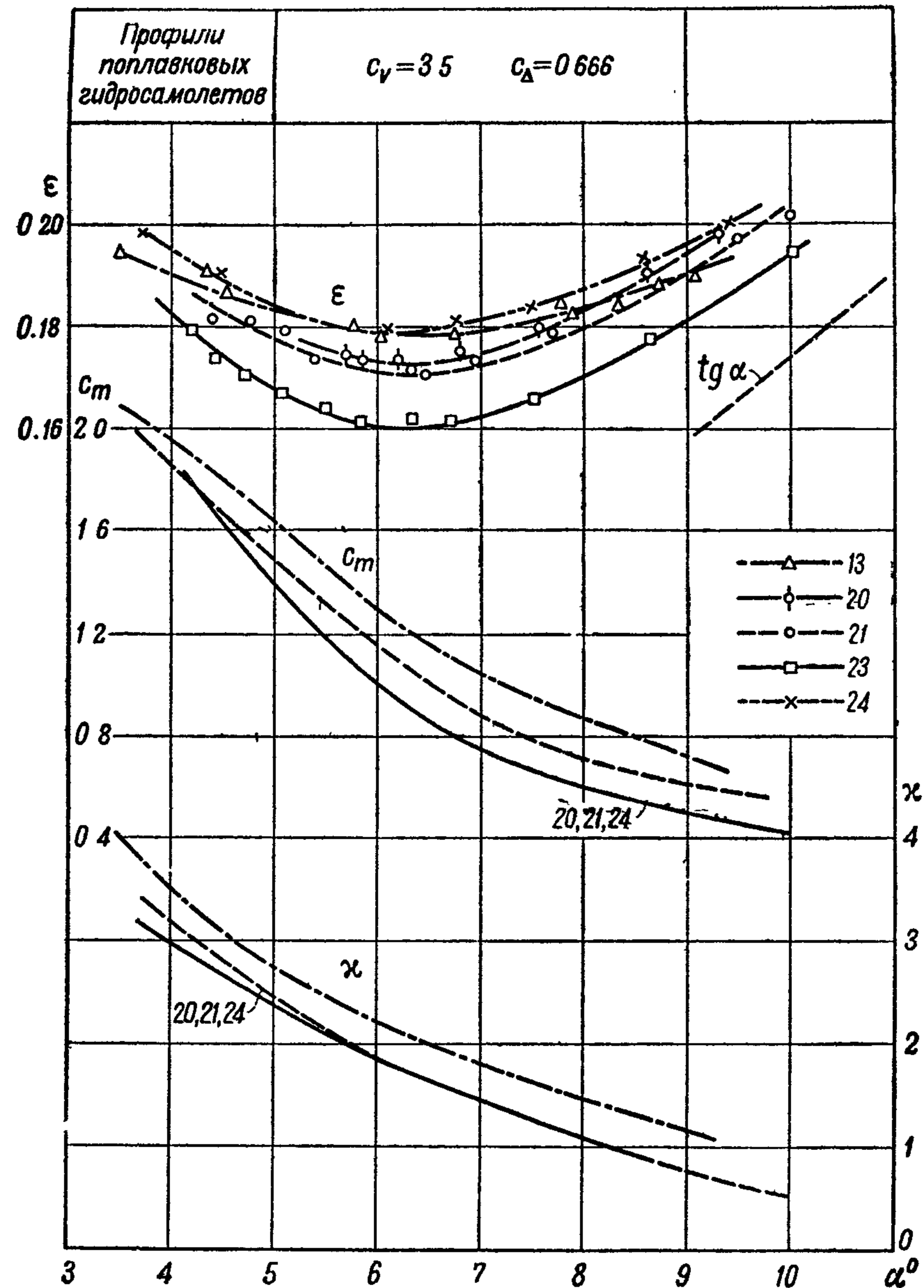


На фиг 125 — 127 приводится сравнение профилей трех типов плоскокилеватого (№ 4'), с цилиндрическими тоннелями (№ 7) и со скуловыми накладками (№ 19)

На критическом режиме и режиме глиссирования плоскокилеватый профиль — наилучший по своим характеристикам. Лучшим профилем является профиль со скуловыми накладками (№ 19)

Преимущество профилей со скуловыми накладками заключается не только в уменьшении ϵ , но также в уменьшении c

Фиг. 27

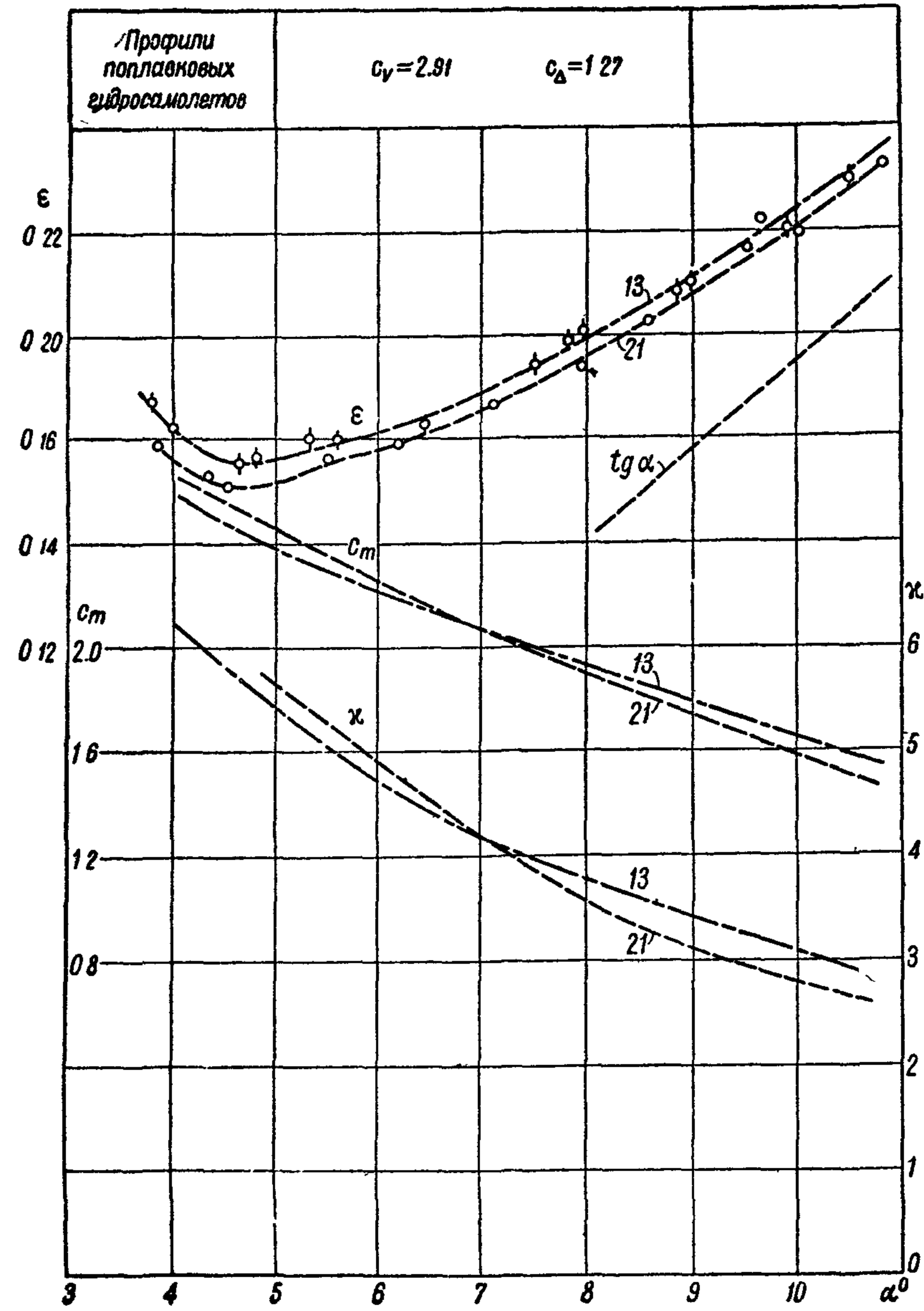


На фиг. 128 — 130 приводится сравнение профилей с цилиндрическими туннелями (№ 13) и со скучовыми накладками (№ № 20, 21, 23 и 24) для поплавокых гидросамолетов

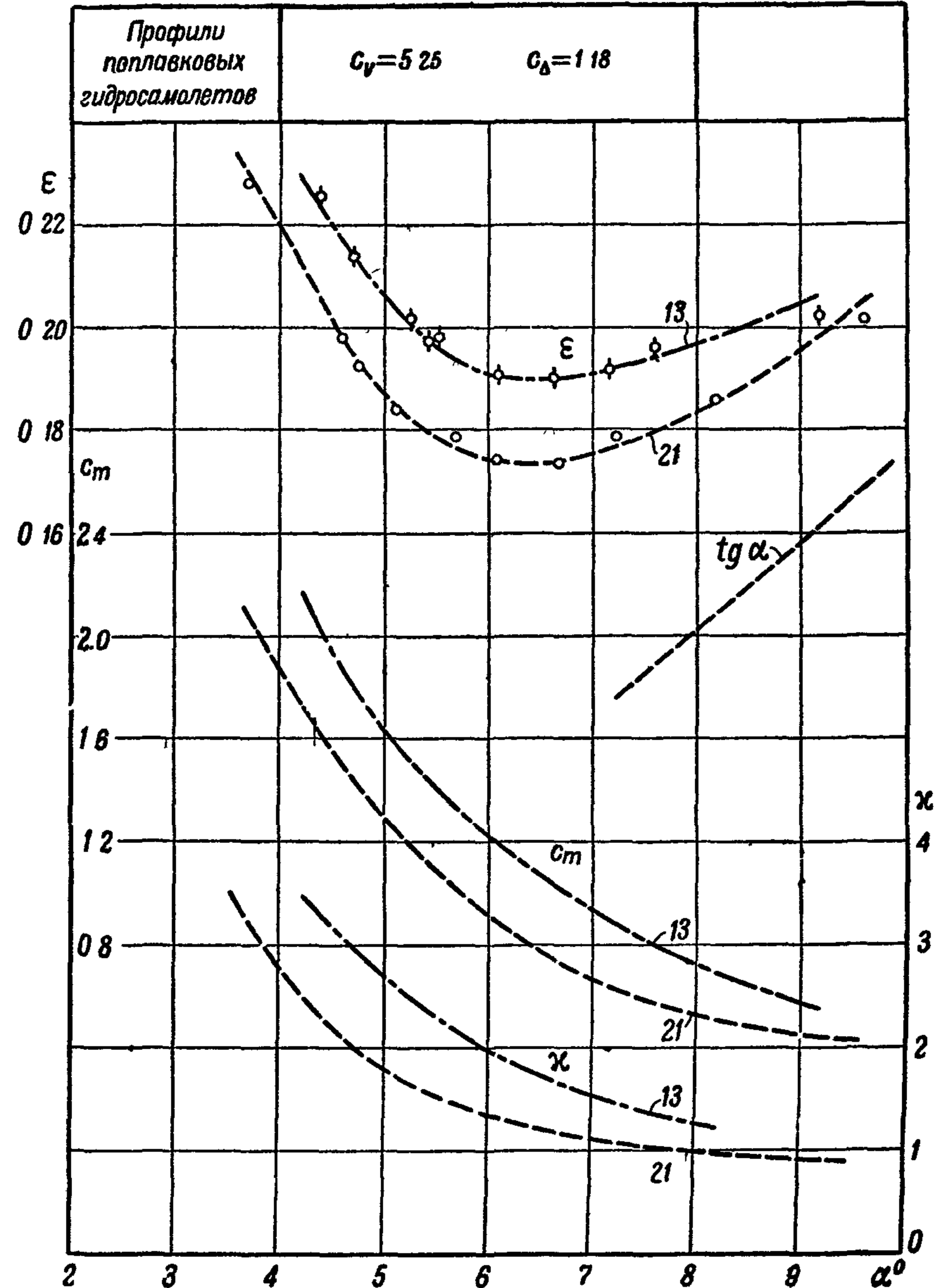
На режиме критических скоростей ($c_V = 2,91$) гидродинамические характеристики обоих типов профилей мало отличаются друг от друга.

На режиме глиссирования ($c_V = 3,5 — 5,25$) профили со скучовыми накладками имеют явное преимущество по величине ϵ и c_m в сравнении с профилями с цилиндрическими туннелями

Фиг. 128



Фиг 129



Фиг 130

Таблица XV
(к фиг. 86—130)

№№ про- филей	cV	cA	№№ фигур	№№ про- филей	cV	cA	№№ фигур	№№ про- филей	cV	cA	№№ фигур
1	2,31	0,148	86	7	4,30	0,590	97 и 127	19	2,87	0,740	111 и 125
1	2,31	0,236	86	8	3,50	0,666	124	19	2,87	0,925	111 и 126
1	2,31	0,444	85	9	3,50	0,666	124	19	2,37	1,150	111
1	3,50	0,532	86	10	3,50	0,366	98	19	3,50	0,666	123
1	3,50	0,333	87	11	3,50	0,655	98	19	4,30	0,590	112 и 127
1	3,50	0,666	87	12	3,50	0,355	98	20	2,91	1,270	113
1	3,50	1,300	87	13	2,91	1,270	99 и 129	20	2,91	0,666	113
1	3,50	0,383	87	13	2,91	1,670	99	20	3,50	1,670	128
1	4,35	0,593	83	13	3,50	0,666	123	20	2,91	0,666	114
1	4,65	1,136	83	13	5,25	0,666	100 и 130	21	2,91	1,270	115
1	4,65	1,730	83	14	3,50	0,555	101	21	2,91	1,670	115
1	5,50	1,837	83	14	3,50	1,330	102	21	2,91	1,970	115
1	5,50	1,370	89	15	2,91	0,790	103	21	3,50	0,666	115
2	3,50	1,670	91	15	2,91	1,190	103	21	5,25	0,770	116
3	3,50	0,355	91	15	3,50	0,856	123	21	5,25	1,180	116
3	3,50	0,655	91	15	5,25	0,837	104	21	5,25	1,470	116
4	3,50	0,655	92	15	2,91	0,790	105	22	2,91	1,270	117
4	2,37	0,925	92 и 125	16	2,91	1,090	105	22	2,91	1,670	117
4	2,37	1,150	92	16	2,91	1,390	105	22	2,91	1,180	118
4	2,87	0,565	124	16	5,25	0,540	106	22	5,25	1,270	119
4	3,50	0,593	93 и 127	16	3,50	0,555	123	23	2,91	1,670	119
4	4,30	0,593	91	16	3,50	0,985	124	23	3,50	0,666	128
5	3,50	0,740	94	16	5,25	0,837	106	23	5,25	1,180	120
6	2,87	0,925	94	16	2,91	0,790	107	24	2,91	1,270	121
6	2,87	0,925	94	17	2,91	1,190	107	24	2,91	1,670	121
6	2,87	1,150	94	17	3,50	0,655	123	24	3,50	0,666	128
6	3,50	0,656	124	17	5,25	0,837	103	24	3,50	1,180	122
6	4,30	0,540	95	17	2,91	1,190	109	24	5,25	1,180	122
6	4,30	0,740	95 и 125	18	3,50	1,190	109	24	3,50	0,666	90
7	2,37	0,925	95 и 125	18	5,25	0,666	123	25	3,50	0,666	90
7	3,50	0,655	124	18	5,25	0,837	110	25	3,50	0,666	90

Плоские и продольно-изогнутые пластины

Плоские и продольно-изогнутые пластины обладают большим гидродинамическим качеством при малых ($\approx 0,2—0,5$) значениях c_A (фиг. 86—90). Прочитайте отчет интенсивности брызгообразования в виде струй, отбрасываемых вперед. Для продольно-изогнутых пластин при больших углах атаки $\alpha > 8^\circ$ может наступить продольная неустойчивость.

Плоскокилеватые профили (№ 2—6)

При глиссировании профилей с различной килеватостью и одинаковыми значениями Δ , γ , α и B с увеличением угла килеватости β наблюдается увеличение коэффициента глиссирования ϵ с одновременным возвратом к $\epsilon_{пл}$.

Увеличение коэффициента глиссирования в зависимости от углов килеватости приближенно может быть представлено формулой:

$$\epsilon_{кил} = \epsilon_{пл} + 0,01 \frac{tg\beta}{sin\alpha}$$

При увеличении углов атаки ($\alpha > 9^\circ$) значение $\epsilon_{кил}$ достаточно быстро приближается к значению $\epsilon_{пл}$, стремясь к значению $tg\alpha$ (фиг. 91). Брызгообразование при плоскокилеватых профилях чрезвычайно сильно и может привести к неприятным формам при разбеге летящей лодки с плоскокилеватым днищем. Гидродинамическое сопротивление плоскокилеватых профилей при $\beta > 2^\circ$ столь велико, что может затруднить отрыв от воды.

Профили с цилиндрическими тоннелями (№ 7—13)

Профили с тоннелями, как правило, обладают лучшими гидродинамическими характеристиками в сравнении с плоскокилеватыми профилями

(фиг 124—127) При низком положении скулы (малом отношении $\frac{a}{B}$) может наступить увеличение коэффициента глиссирования в связи с замыванием бортов. Вследствие отклонения воды в тоннели, брызгообразование этих профилей благоприятнее, чем у плоскокилеватых профилей.

Профили со скуловыми накладками (№ 14—24, фиг 101—122)

Профиль № 14 представляет собой плоскую пластину со скуловыми накладками (ширина их менялась). Остальные профили являются плоскокилеватыми со скуловыми накладками. Применение скуловых накладок приводит к уменьшению δ , c_m и κ в сравнении с плоской пластиной без накладок. Применение скуловых накладок к плоскокилевым профилям показывает значительные преимущества этого типа профиля в сравнении с двумя первыми типами (фиг. 124—130). Точно так же значительно уменьшается и брызгообразование.

Анализ экспериментальных данных позволяет указать следующие зависимости между отдельными элементами профилей этого типа

$$\begin{aligned} \delta &= 90^\circ + \beta, \\ R &\text{— от } 0,03 \text{ до } 0,04 B; \\ b &\text{— от } 0,03 \text{ до } 0,04 B \text{ при } \beta = 22^\circ 30' \text{ и} \\ &\text{от } 0,05 \text{ до } 0,07 B \text{ при } \beta = 30^\circ \end{aligned}$$

Рациональным типом профиля являются плоскокилеватые профили со скуловыми накладками (№ 16, 19, 21 и 23), обладающие следующими достоинствами

1) малые значения коэффициента глиссирования (высокое гидродинамическое качество) и малое значение c_m в сравнении с остальными типами профилей,

2) благоприятная картина брызгообразования

БИБЛИОГРАФИЯ

- 1 Sottorf W. Versuche mit Gleitflächen II und III Teil — Werft-Reederei-Hafen 1932, N 19, p 286—290, 9 ill, 1933, N 4, p 43—47, 14 ill, N 5, p 59—61
- 2 Sottorf W. Versuche mit Gleitflächen I Teil — Werft-Reederei-Hafen 1929 N 21, p 425—432, 14 ill
- 3 Sambras A. Gleitflächenversuche bei grossen Froudeschen Zahlen und Tragflugelvergleich — „Luftfahrt forschung“ 1936, v XIII, N 8, p 269—280, 30 ill

АТЛАС МОДЕЛЕЙ ГИДРОСАМОЛЕТОВ

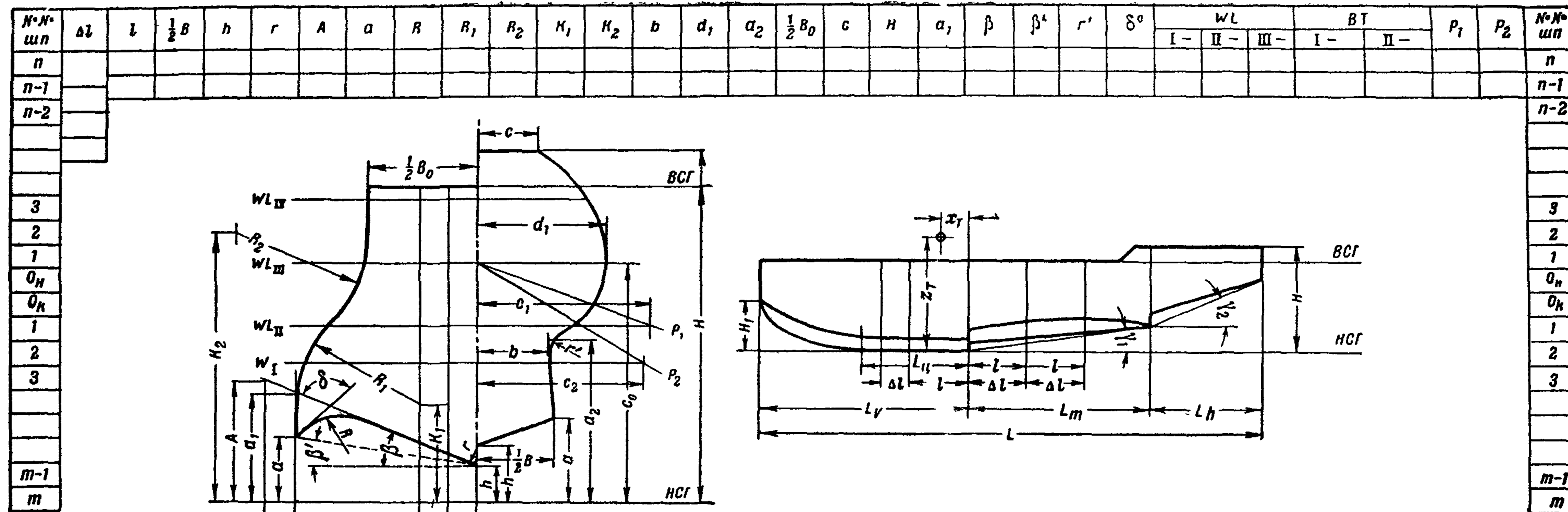
В атласе приведены результаты буксировочных испытаний 14 моделей. Сопротивление моделей дается по результатам испытаний моделей в присутствии аэродинамического щита. Отношение веса моделей G к соответствующей начальной нагрузке на воду Δ_0 было от 3 до 5. Материалом моделей был преимущественно парафин. Модели летающих лодок и однопоплавковых гидросамолетов испытывались без подкрыльных поплавков.

Для каждой модели приводятся следующие данные

1) теоретический чертеж модели (бок, широта и корпус) и сводка основных геометрических параметров ее, отнесенных к ширине B на главном (первом) редане,

2) таблица плазовых координат, составленная по стандартной схеме (фиг 131),

3) изменение нагрузок на воду Δ в функции скорости буксирования V для нескольких начальных коэффициентов нагрузки c_{Δ} ,



4) изменение сопротивления W , углов дифферента φ и всплытия ц. т. модели z в функции скорости V для ряда нагрузок на воду Δ при свободном дифференте ($M=0$),

5) изменение моментов дифферента M и соответствующих им сопротивления W и всплытия ц. т. z в функции дифферента модели φ для нескольких постоянных скоростей буксирования и одной начальной нагрузки на воду Δ_0 ,

6) изменение гидродинамического качества $K = \frac{\Delta}{W}$ и углов дифферента модели φ в функции коэффициентов нагрузки $c_\Delta = \frac{\Delta}{\gamma B^3}$ для ряда постоянных коэффициентов скоростей $c_V = \frac{V}{\sqrt{gB}}$ как при свободном дифференте модели, так и при наивыгоднейшем режиме $M_{\text{наивыг}}$ (момент, соответствующий минимальному сопротивлению);

7) таблицы результатов испытаний модели в безразмерных коэффициентах для $M=0$ и $M_{\text{наивыг}}$.

Для каждой модели дается краткая оценка ее поведения во время буксировки (устойчивость хода, брызгообразование и т. д.).

Углы дифферента φ измерялись как углы между нижней строительной горизонталью модели (НСГ) и горизонтом, а всплытия ц. т. z — относительно положения ц. т. при скорости $V=0$ и при какой-либо определенной начальной нагрузке на воду. Диапазон нагрузок показан как на соответствующих диаграммах, так и в таблице XVI.

Теоретический чертеж и обозначения основных элементов лодки или поправка гидросамолета

Теоретический чертеж лодки или поправка гидросамолета представляет собой совокупность чертежей сечений корпуса горизонтальными и вертикальными плоскостями (фиг. 132):

Бок — проекции корпуса на вертикальную плоскость симметрии (диаметральную плоскость) и сечений его плоскостями, параллельными диаметральной плоскости (батоксы — BT),

Полширота — проекции корпуса на горизонтальную плоскость и сечений его горизонтальными плоскостями.

Корпус — проекции корпуса на вертикальную поперечную плоскость и сечений его (вертикальными) поперечными плоскостями (шпангоуты).

Для более точной проверки плавности перехода поверхностей отдельных элементов корпуса (днище, сложный борт) в некоторых случаях строят линии пересечения корпуса плоскостями, наклоненными к диаметральной плоскости под различными углами (рыбины).

Нижняя строительная горизонталь (НСГ) — основная базовая линия лодки, проходящая через кромку главного (первого) редана.

Верхняя строительная горизонталь (ВСГ) — верхняя основная линия корпуса, параллельная НСГ.

Полная длина (L) — расстояние между проекциями на НСГ крайних (носовой и кормовой) точек корпуса.

Носовая часть (L_N) — часть лодки от носа до первого редана.

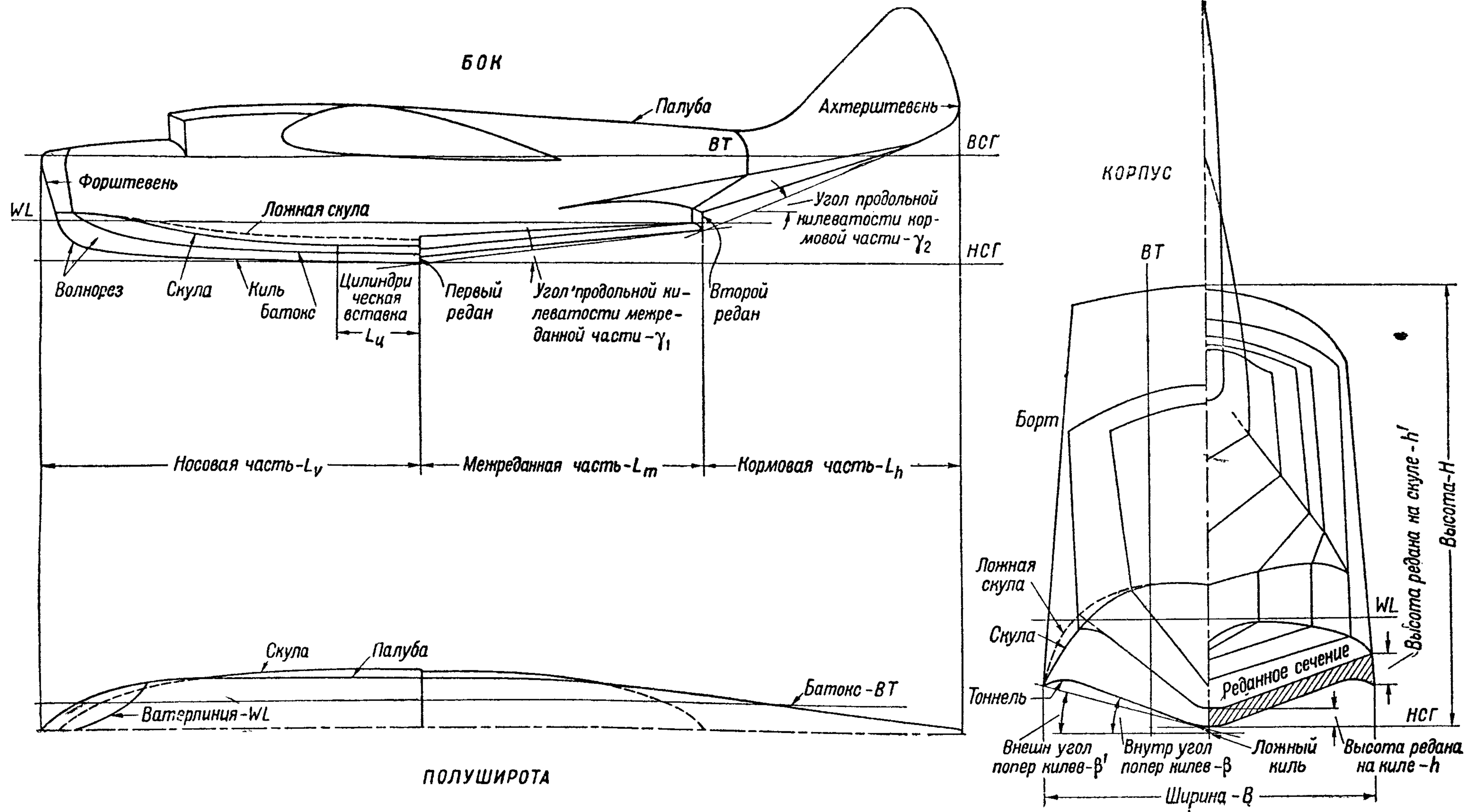
Междеданная часть (L_m) — часть лодки между первым и вторым реданами.

Кормовая часть (L_K) — часть лодки от второго редана в корму.

Килевая линия (киль) — линия пересечения диаметральной плоскости с днищем.

Ложный киль — линия пересечения диаметральной плоскости с поверхностью, определяющей внутреннюю килеватость днища.

Скуловая линия (скула) — линия пересечения поверхностей днища и борта корпуса.



Фиг. 132

Ложная скула — линия пересечения поверхности, определяющей внутреннюю килеватость днища, с вертикальной цилиндрической поверхностью, построенной на скуле.

Форштевень и ахтерштевень — крайние детали остова, оформляющие линию пересечения диаметральной плоскости с корпусом в носу и корме соответственно.

Волнорез — носовое образование днища.

Цилиндрическая вставка — часть днища постоянного сечения.

Редан — уступ в днище.

Угол продольной килеватости межреданной части (γ_1) — угол между НСГ и линией, соединяющей кромки первого и второго реданов.

Угол продольной килеватости кормовой части (γ_2) — угол между НСГ и касательной к килю кормовой части, проходящей через кромку второго редана.

Мидель — сечение корпуса, имеющее наибольшую ширину по скулам.

Ширина (B) — ширина лодки или поплавка между скулами в сечении по главному редану.

Внутренний угол поперечной килеватости (β) — угол образованный прямолинейным участком сечения днища с горизонталью.

Внешний угол поперечной килеватости (β') — угол, образованный горизонталью и касательной к днищу вблизи киля, проходящей через кромку скулы.

Тоннель — криволинейное образование днища у скул.

Высота редана — высота уступа днища по килю (h) и по скуле (h').

Типы обводов

По своим обводам приводимые в атласе модели летающих лодок, двух- и однопоплавковых гидросамолетов могут быть отнесены к различным семействам. За основной признак данного семейства обводов принята сходственность геометрических параметров рабочей площадки (глиссирующий участок днища) носовой части моделей — однотипность поперечного и продольного профиля рабочей площадки и форма ее в плане. Характерными особенностями рабочей площадки являются:

а) профиль поперечного сечения — плоский, плоскокилеватый, вогнутый, с цилиндрическими тоннелями или плоскокилеватый со скуловыми накладками;

б) продольный профиль (форма бугров) — прямолинейный или криволинейный с цилиндрическими вставками и без них;

с) форма редана в плане — поперечный или заостренный редан.

В соответствии с этим модели могут быть разбиты на ряд семейств (таблица XVI).

Модели летающих лодок

А. Семейство моделей, имеющих плоскокилеватый поперечный профиль с цилиндрическими тоннелями (тип профиля № 7—9, стр. 92) криволинейный продольный профиль и поперечный первый редан. Цилиндрическая вставка отсутствует. К этому семейству могут быть отнесены модели № 1 и 2, имеющие поперечный второй редан, и модель № 3, имеющая заостренный второй редан.

В. Семейство моделей, имеющих плоскокилеватый поперечный профиль с цилиндрическими тоннелями (тип профиля № 7—9, стр. 92), прямолинейный продольный профиль с цилиндрической вставкой и попе-

Таблица XVI

Семейства моделей	Характеристики семейств обводов	№№ моделей	Ширина на первом редане B (мм)	Угол продольной килеватости межреданной части γ_1	Внутренний угол поперечной килеватости на первом редане β	Внешний угол поперечной килеватости на первом редане β'	Удлинение модели $\frac{L_v + L_m}{B}$	Диапазон начальных коэффициентов нагрузок c_{Δ_0} и качества K на критич. скорости	
								c_{Δ_0}	M наивыг. K
I Модели летающих лодок									
A	Плоскокилеватый поперечный профиль с цилиндрическими тоннелями, криволинейный продольный профиль без цилиндрической вставки и поперечный первый редан	1	312,5	35°	30°15'	19°00'	5,78	0,875—1,38 0,843, 0,99 0,9, 1,2	4,7 4,2 ¹
		2	323	20°	31°17'	20°23'	6,00		4,6, 4,3 ¹
		3	300	15°	22°00'	16°15'	5,94		5,1, 4,85
B	Плоскокилеватый поперечный профиль с цилиндрическими тоннелями, прямолинейный продольный профиль с цилиндрической вставкой и поперечный первый редан	4	300	30°	22°00'	16°15'	5,71	0,7 —1,5	5,85—5,52
C	Плоскокилеватый поперечный профиль со скуловыми накладками, прямолинейный продольный профиль с цилиндрической вставкой и поперечный первый редан.	5	300	8°37'	25°	20°30'	6,18	0,7 —1,5	5,83—4,95
D	Плоскокилеватый поперечный профиль, прямолинейный продольный профиль без цилиндрической вставки, первый и второй реданы—заостренные.	6	300 ²	0°00'	15°00'	15°00'	6,15	0,5 —1,5	6,65—4,45
II. Модели двухпоплавковых гидросамолетов									
E	Плоскокилеватый поперечный профиль с цилиндрическими тоннелями, криволинейный продольный профиль без цилиндрической вставки и поперечный первый редан То же; поперечный профиль-лекальный:	7	200 ²	6°25'	30°12'	25°12'	8,25	1,5 —2,3	4,35—4,15
		8	200 ²	9°00'	лекаль	32°10'	8,34	1,5 —2,3	4,03—3,73
F	Плоскокилеватый поперечный профиль со скуловыми накладками, прямолинейный продольный профиль с цилиндрической вставкой и поперечный первый редан	9	200	6°25'	30°00'	25°00'	8,25	1,5 —2,3	4,75—4,30
		10	200	6°25'	23°00'	18°30'	8,25	1,5 —2,3	4,81—4,34
		11	200	6°25'	$\frac{30°00'}{23°00'}$	$\frac{17°00'}{15°00'}$	8,25	1,5 —2,3	5,2 —4,15
III. Модели однопоплавковых гидросамолетов									
G	Плоскокилеватый поперечный профиль со скуловыми накладками, криволинейный продольный профиль без цилиндрической вставки и поперечный первый редан.	12	230	7°15'	3 0'	21°00'	6,22	1,48	4,15
H	Плоскокилеватый (исходный) поперечный профиль со скуловыми накладками (на рабочей площадке—плоскокилеватый) и прямолинейный продольный профиль без цилиндрической вставки, первый и второй реданы—заостренные	13	300 ²	8°05'	24°45'	24°45'	6,66	0,9 —1,7	5,72—4,7
I	Вогнутый поперечный профиль, прямолинейный продольный профиль с цилиндрической вставкой и поперечный первый редан	14	300	$\frac{30°30'}{6°40'}$	—	—	6,66	0,985—1,64	5,85—4,45

¹ Качество этой модели приводится лишь для $M=0$,

² Приводится ширина на миделе,

речный первый редан. К этому семейству обводов относится модель № 4, имеющая заостренную в плане форму второго редана.

С. Семейство моделей, имеющих плоскокилеватый поперечный профиль со скуловыми накладками, прямолинейный продольный профиль с цилиндрической вставкой и поперечный первый редан. К этому семейству обводов относится модель № 5, имеющая заостренную в плане форму второго редана с площадкой. Тип профиля этого семейства № 16—19 (стр. 92).

Д. Семейство обводов, имеющих плоскокилеватый поперечный профиль, прямолинейный продольный профиль без цилиндрической вставки и заостренные в плане первый и второй реданы. К этому семейству относится модель № 6. Редан имеет профиль № 3 (стр. 92).

Модели двухпоплавковых гидросамолетов

Е. Семейство моделей, имеющих поперечный профиль с цилиндрическими тоннелями, криволинейный продольный профиль без цилиндрической вставки и обычные очертания реданов: первый редан — поперечный, второй — заостренный. Модель № 7 этого семейства имеет плоскокилеватый поперечный профиль (тип профиля № 7—9 стр. 92), а модель № 8 имеет лекальный профиль (тип профиля № 13 стр. 92). Миделевое сечение моделей расположено в нос от первого редана; киль и скула у редана имеют отрицательный угол с НСГ.

Ф. Семейство моделей, подобное семейству С моделей лодочных гидросамолетов и являющееся производным модели № 7 семейства Е, имеет плоскокилеватый поперечный профиль со скуловыми накладками и цилиндрическую вставку (тип профиля № 17—24, стр. 92).

К этому семейству могут быть отнесены модели № 9, 10 и 11.

В отличие от модели № 7 у моделей № 9, 10 и 11 киль и скула у редана сделаны прямолинейными. Поперечные профили моделей № 9 и 10 имеют разные углы килеватости, и именно: $\beta = 30^\circ$ и $\beta = 23^\circ$ соответственно.

Поперечный профиль модели № 11 является комбинацией профилей моделей № 9 и 10 (профиль модели № 10 вписан в профиль модели № 9; внутренний профиль имеет ширину $0,6 B_{\max}$).

Модели однопоплавковых гидросамолетов

Г. Семейство обводов, имеющих плоскокилеватый поперечный профиль со скуловыми накладками и криволинейный продольный профиль без цилиндрической вставки; первый редан поперечный, второй (корма) — заостренный. К этому семейству относится модель № 12, имеющая удлинение 6,22 и внутренний угол поперечной килеватости профиля реданного сечения $\beta = 30^\circ$. Тип профиля этого семейства — № 15—24 (стр. 92). Миделевое сечение моделей расположено впереди редана.

Н. Семейство обводов, подобных обводам семейства Д, но имеющих в плане криволинейный первый редан несколько меньшей заостренности, нежели модель № 6. К этому семейству относится модель № 13. Профиль со скуловыми накладками в носовой части модели переходит к редану в плоскокилеватый тип профиля этого семейства № 4 и 16 (стр. 92).

И. Семейство обводов, имеющих вогнутый с цилиндрическими тоннелями профиль днища и прямолинейный продольный профиль с цилиндрической вставкой; первый редан — поперечный, второй — заостренный. Такие обводы имеет модель № 14.

Гидродинамические характеристики семейств обводов. Поведение моделей

На соответствующих диаграммах атласа приведено гидродинамическое качество моделей К в функции коэффициентов нагрузок c_{Δ} для ряда постоянных коэффициентов скоростей c_V при $M=0$ и $M_{\text{наивыг}}$. В случае отсутствия

кривых моментов для достаточного количества нагрузок и скоростей — приводится гидродинамическое качество K в функции c_V .

В таблицах XXXI—XLIV приведены результаты буксировочных испытаний моделей для постоянных c_V и c_A . Вследствие разных центровок моделей сравнение достоинств или недостатков тех или иных обводов лучше всего производить на наивыгоднейшем режиме работы их, т. е. на режиме минимального сопротивления $W_{\text{миним}}$.

Семейство А. Для этого семейства обводов характерно сильное брызгообразование носовой части на больших нагрузках; так, на скоростях $V \geq V_{\text{кр}}$ при $c_{A_0} > 1,4$ мощные струи воды поднимаются значительно выше палубы, что может создать неблагоприятные условия работы винтов в случае установки перед крылом. Работа форштевней и волнорезов моделей № 1 и 2 на режиме плавания — удовлетворительна: вода попадает на палубу лишь при коэффициентах нагрузки $c_{A_0} > 1,5$ (имеется в виду буксировка при $M = 0$). Для модели № 3 было отмечено значительное замывание всей носовой части ее при $c_{A_0} = 1,2$; вследствие наличия плоскокилеватого поперечного профиля волнореза вода по бортам поднималась до палубы. На скоростях глиссирования поведение всех моделей удовлетворительное.

Форштевни типа моделей № 1, 2 и 3 являются наилучшими для всех коэффициентов нагрузки до $c_{A_0} = 1,4$. Для больших коэффициентов нагрузок заливание палубы легко предотвращается постановкой на форштевнях, несколько выше скуловой линии, небольших (до $1,5 B$ длиной и $0,1 B$ шириной) профилированных брызгоотражателей.

В момент, предшествующий отрыву второго редана, у моделей этого семейства при $M = 0$ появляются продольные колебания, усиливающиеся с увеличением скорости и нагрузки на воду. Приложение значительных моментов на корму на всех c_{A_0} влечет за собой увеличение неустойчивости хода моделей (в меньшей степени это явление присуще модели № 3, имеющей заостренную в плане форму второго редана). Небольшие моменты на нос предотвращают неустойчивость хода и дают при этом значительное уменьшение сопротивления.

Семейство В. Характеризуется несколько большим гидродинамическим качеством по сравнению с семейством А.

Устойчивость хода модели № 4 этого семейства примерно такая же, как и у моделей семейства А; диапазон скоростей неустойчивого хода увеличивается с возрастанием нагрузки на воду.

Модель № 4 имеет неудовлетворительные носовые образования для работы на больших нагрузках: так, на скоростях плавания при $c_{A_0} = 1,3 - 1,5$ характерно образование высоких куполообразных потоков воды (шагров), сильно заливающих палубу; на этом режиме даже при $M = 0$ весь форштевень находится под водой. Такому подъему воды способствует шаровое образование носовой оконечности и недостаточно эффективная работа тоннелей. В результате такой формы носовых образований модель № 4 имеет резко выраженные пики сопротивления на больших нагрузках, значительно уменьшающиеся с приложением моментов на корму.

Семейство С. Основным признаком этого семейства является наличие поперечного профиля со скуловыми накладками, прямолинейной формы батоксов и цилиндрической вставки. Эти особенности обеспечили высокое гидродинамическое качество моделей этого семейства, особенно при больших c_A , а также значительно улучшили общую картину брызгообразования моделей. Скуловые накладки помогают струям воды, отходящим от моделей, тотчас же замыкаться на воду, благодаря чему вся брызговая пелена низко стелется по воде. На скоростях глиссирования при очень больших моментах на нос, модели начинают быть неустойчивыми и даже переходят в барс.

Модель № 5, имеющая очень эффективный второй редан (с относительно большой площадкой), является также неустойчивой при моментах на корму.

Модели этого семейства не имеют таких больших местных пиков сопротивления, которые имеет семейство В.

Семейство *D*. Модель № 6 этого семейства, близкая по своим обводам к модели НАСА-35, обладает при $M=0$ сравнительно невысоким гидродинамическим качеством, главным образом, вследствие очень больших углов диферента (центровка модели: $x_T=0,833B$, вместо $x_T=1,16B$ у модели НАСА-35). Уменьшение углов диферента при больших нагрузках на воду влечет за собой значительное возрастание гидродинамического качества моделей, но при очень больших моментах на нос ход модели становится неустойчивым. При $V \leq V_{кр}$ плоскокилеватый поперечный профиль модели создает сильное брызгообразование в стороны вверх и вперед, даже при малых углах диферента. Кормовая часть модели сильно заливается водой на режиме выхода на редан. В случае осуществления подобных обводов на натуре с расположением винтомоторной группы в крыле, необходима установка на скулах лодки специальных накладок-отражателей, предотвращающих заливание винтов, а также и установка площадки на конце кормы, предотвращающей заливание оперения.

Семейство *E*. Гидродинамическое качество модели № 7 этого семейства двухпоплавковых гидросамолетов, несмотря на вызываемые заостренностью кормы большие углы диферента, следует признать хорошим (коэффициенты нагрузок на воду c_{Δ} модели № 7 отнесены к ширине на модели ($B=200$ мм)). При увеличении c_{Δ} гидродинамическое качество на $c_{V_{кр}}$ падает незначительно, а на больших скоростях, с приложением небольших моментов на нос, оно даже возрастает.

Модель № 7 имеет продольные колебания на скоростях, $V=7-9$ м/с при больших моментах на нос и на $V=7$ м/с при значительных моментах на корму. Работа носовой части на режиме плавания и характер брызгообразования модели вполне удовлетворительны; предельные моменты, при которых наступает заливание палубы, $M=1,6-1,0$ кгм (соответственно $c_{\Delta_0}=1,9-2,3$ и $V=4$ м/с).

Характерными особенностями модели № 8 этого семейства (типа поплавка гоночного гидросамолета Супермарин S-5) являются: а) лекальный поперечный профиль с большим углом килеватости, б) относительно большое удлинение ($\lambda=8,34$), в) большой угол продольной килеватости ($\gamma_1=9^\circ$). Буксировочные испытания показывают, что модель устойчива на всех скоростях и нагрузках. Гидродинамическое качество сравнительно низкое. При больших нагрузках и малых скоростях поплавок выдерживает лишь незначительные моменты на нос. За кормой поплавок, вследствие большой заостренности ее, образуется высокий фонтан воды. Модель имеет обильное брызгообразование. Принятая центровка для всех скоростей и нагрузок является наивыгоднейшей.

Семейство *F*. Гидродинамическое качество моделей № 9, 10 и 11 этого семейства, являющихся в той или иной степени производными модели № 7, выше, чем у последней.

Гидродинамическое качество профиля со скуловыми накладками при наличии цилиндрической вставки резко увеличивается на скоростях глиссирования и больших коэффициентах нагрузки, и особенно при наивыгоднейшем режиме.

Относительно небольшой внутренний угол поперечной килеватости профиля модели № 10 ($\beta=23^\circ$), дает большее гидродинамическое качество на наивыгоднейшем режиме по сравнению с моделью № 9, имеющей $\beta=30^\circ$.

Комбинированный профиль модели № 11, не давая большого преимущества на малых скоростях (на $c_{V_{кр}}$ и $M=0$ гидродинамическое качество этой модели ниже чем у модели № 7), показывает весьма хорошее гидродинамическое качество на скоростях глиссирования за счет уменьшения смоченной ширины на этом режиме.

Модели № 9, 10 и 11 также неустойчивы при значительных моментах на нос на скоростях $V=7$ и 9 м/с.

Характерной особенностью всех моделей этого семейства является наличие высокого и мощного фонтана воды, вырывающегося из под кормы и существующего почти до полного отрыва кормы от воды.

Работа носовых образований всех моделей на малых скоростях удовлетворительная. На режиме глиссирования наиболее благоприятное брызгообразование у комбинированного профиля модели № 11; двойная скула помогает струям быстро замыкаться на воду, благодаря чему брызговая пелена получается низкой, стелящейся по воде.

Семейство *G*. Гидродинамическое качество модели № 12 этого семейства сравнительно невысокое. На больших скоростях имеет место сильное возрастание сопротивления, что может быть объяснено неблагоприятным образованием днища (наличие профиля с резкими тоннелями требует цилиндрической вставки). Неустойчивость хода модели на скоростях $V=5-6 \frac{M}{c}$ предотвращается приложением момента на корму (порядка 0,4—0,5 кгм).

Семейство *H*. Модель № 13, имеет гидродинамическое качество такого же порядка, что и модели летающих лодок, но на малых скоростях и больших c_d имеются пики сопротивления, а на скоростях $V=5-7 \frac{M}{c}$ обнаруживается замывание межреданной части. Углы хода на некотором диапазоне скоростей остаются постоянными (ход на двух реданах). Отрыв второго редана несколько запаздывает и требует значительных моментов на нос. На этих скоростях при недостаточном доступе воздуха в зареданную часть (малая высота редана для данного семейства) происходит активное обтекание по контуру заостренного редана, с заполнением потоком воды всей зареданной части, приводящее к повышению сопротивления.

Модель № 13, подобная по очертанию реданов модели № 6, несколько уступая последней в гидродинамическом качестве, имеет лучшую картину брызгообразования (за счет введения плоскокилеватого профиля со скуловыми накладками в цилиндрической части поплавка), и лучшую устойчивость хода. Некоторая неустойчивость появляется лишь в момент отрыва кормы и при очень больших моментах на нос. Любые моменты на корму устойчивости хода не нарушают.

Семейство *I*. Характерными особенностями гидродинамических характеристик модели № 14 этого семейства являются:

1) чрезмерно большие углы дифферента на критической скорости, вызывающие значительное сопротивление и обильное брызгообразование вперед;

2) наличие резких местных пиков сопротивления на докритических скоростях;

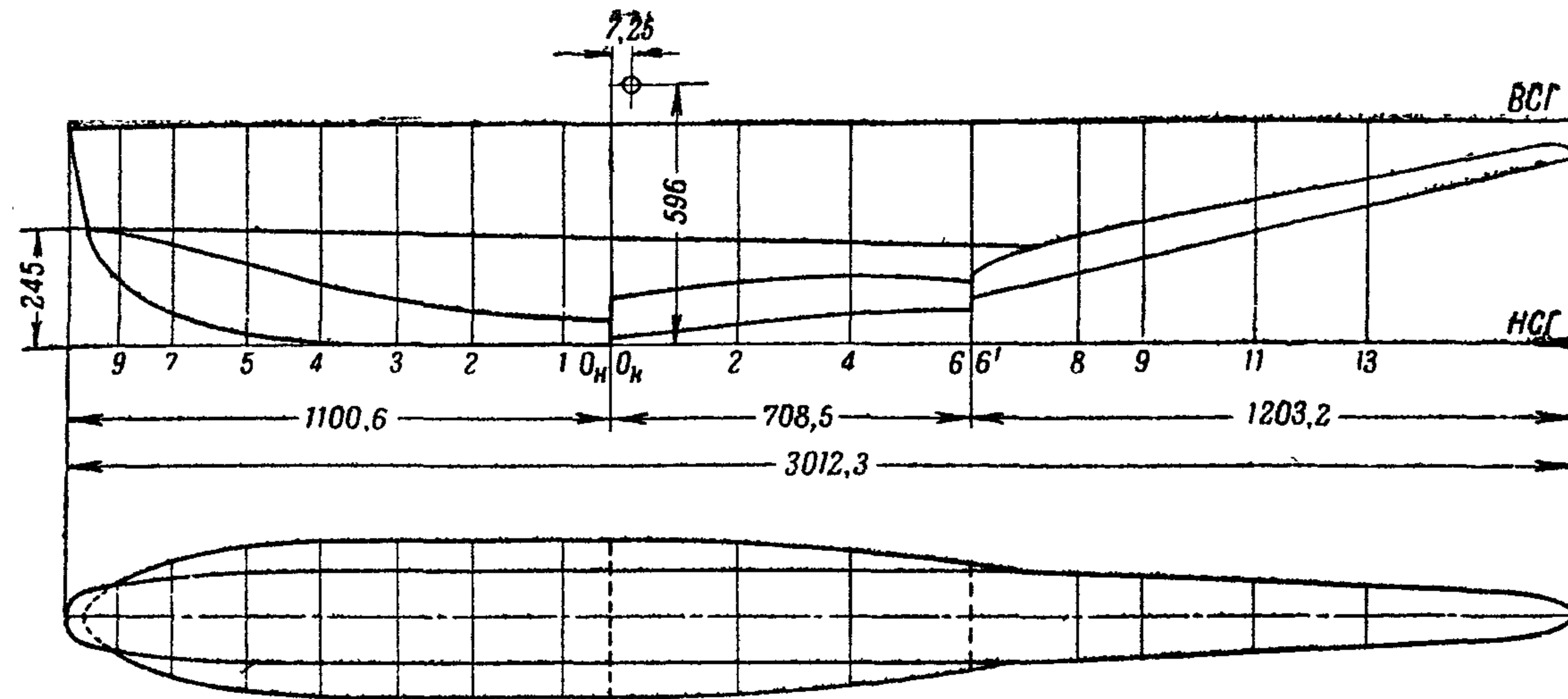
3) высокое гидродинамическое качество модели на больших скоростях особенно на малых нагрузках на воду; так на $V=9 \text{ м/с}$ и $c_{d_0}=0,6$ и $c_{d_0}=1,2$ гидродинамическое качество соответственно для $M=0$ будет $K=8,1-6,1$, а для $M_{\text{наивыг}}$ будет $K=9,2-7,1$;

4) недостаточно устойчивый ход при $M=0$ на больших скоростях и нагрузках на воду; устойчивость хода повышается с уменьшением углов дифферента.

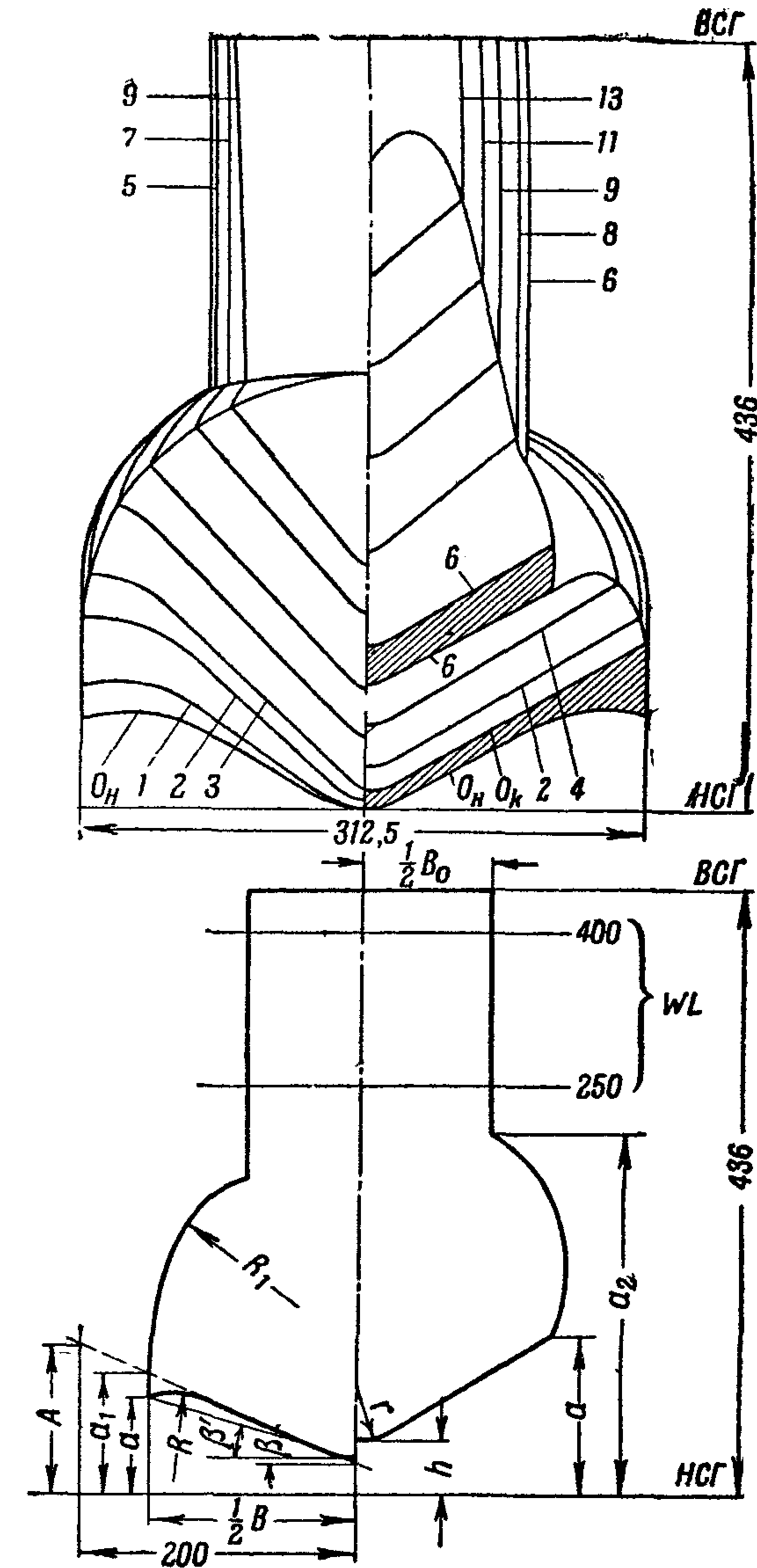
БИБЛИОГРАФИЯ

1. Batson A. D. and Gadd A. G. — Further experiments on a model Fairey III F seaplane. — ARC R. and M 1932, N. 1564.
2. Coombes L. P. Research in the R. A. E. tank. — „RAS“ 1935, v. XXXIX, N. 297, p. 807—834, 23 $\frac{1}{2}$ ill.
3. Esperienze sui modelli degli idrovolanti ad alta velocita destinati alla coppa Schneider 1927. — „Aerotecnica“ 1931, v. XI, N. 2, p. 221—225, 3 ill.
4. Eula A. Esperienze idrodinamiche di modelli di galleggianti idrovolante. — „Aerotecnica“ 1934, v. XIV, N. 8—9, p. 947—990, 72 ill.
5. Langley M. Seaplane float and hull design. L. Pitman. 1935, 131 p.
6. Parkinson J. P. A. and Dawson J. R. Tank tests of N. A. C. A. model 40 series of hulls for small flying boats and amphibians. — NACA Rep. 1936, N. 543.
7. Truscott S. The effect of spray strips on the take-off performance of a model of a flying-boat hull. — NACA Rep. 1934, N. 503.
8. Wood K. D. Technical Aerodynamics. NY. College of Engineering, Cornell University 1935, 280 p.

**АТЛАС
МОДЕЛЕЙ ГИДРОСАМОЛЕТОВ**



1. Ширина модели на первом редане $B = 312,5$ мм
2. Длина носовой части $L_v = 3,52 B$
3. Длина межреданной части $L_m = 2,26 B$
4. Удлинение лодки $\frac{L_v + L_m}{B} = 5,78$
5. Длина цилиндрической вставки $L_{\text{ц}} = 0$
6. Координаты центра тяжести $x_T = -0,0232 B$
 $z_T = 1,907 B$
7. Высота первого редана по килю $h_1 = 0,0320 B$
по скуле $h_1 = 0,136 B$
8. Углы продольной килеватости
межреданной части $\gamma_1 = 5^\circ 35'$
кормовой части $\gamma_2 = 14^\circ 10'$
9. Углы поперечной килеватости на первом редане
внутренний $\beta = 30^\circ 15'$
внешний $\beta' = 19^\circ 00'$

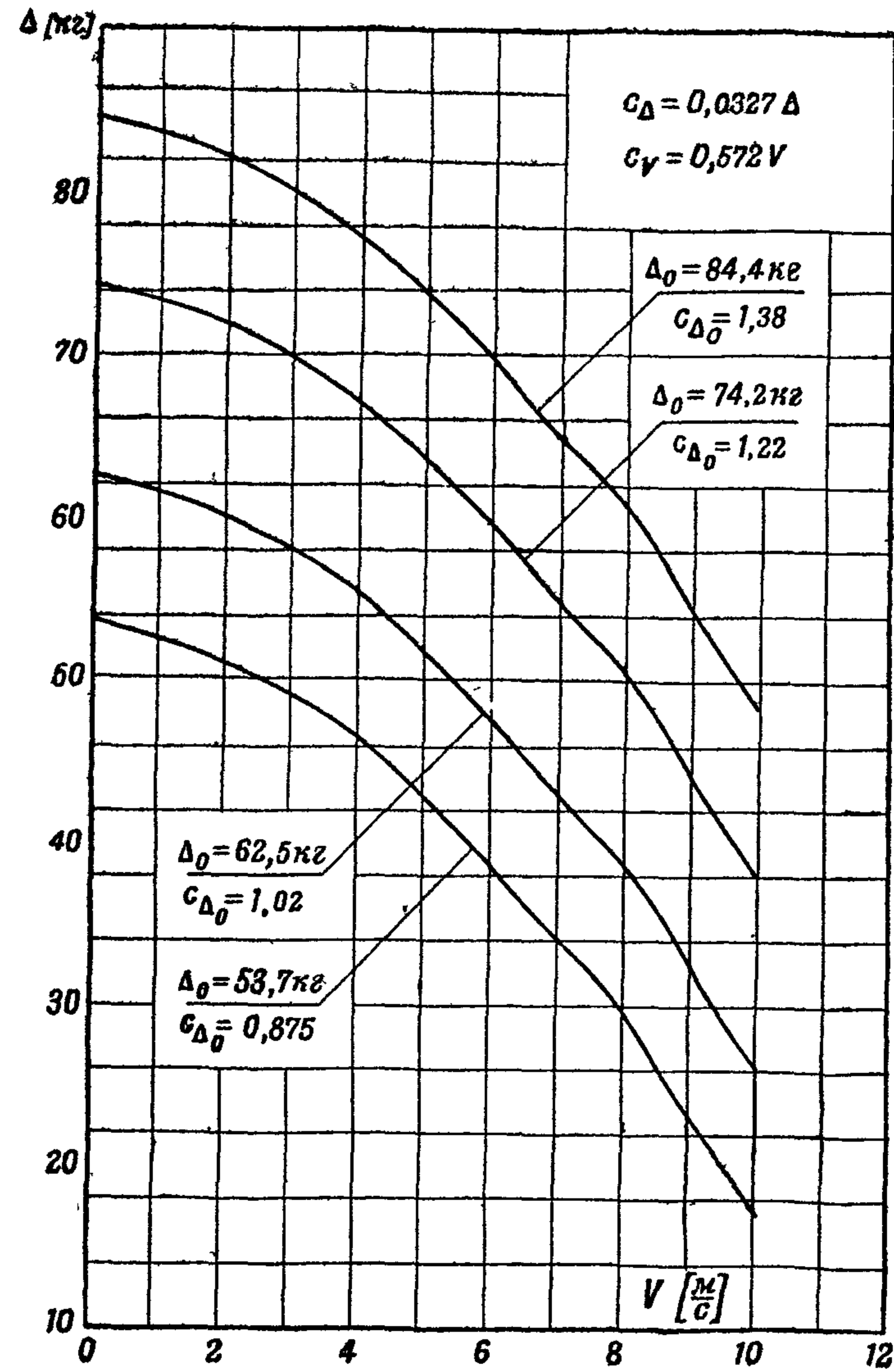


Фиг. 133. Теоретический чертеж двухлодочной модели № 1

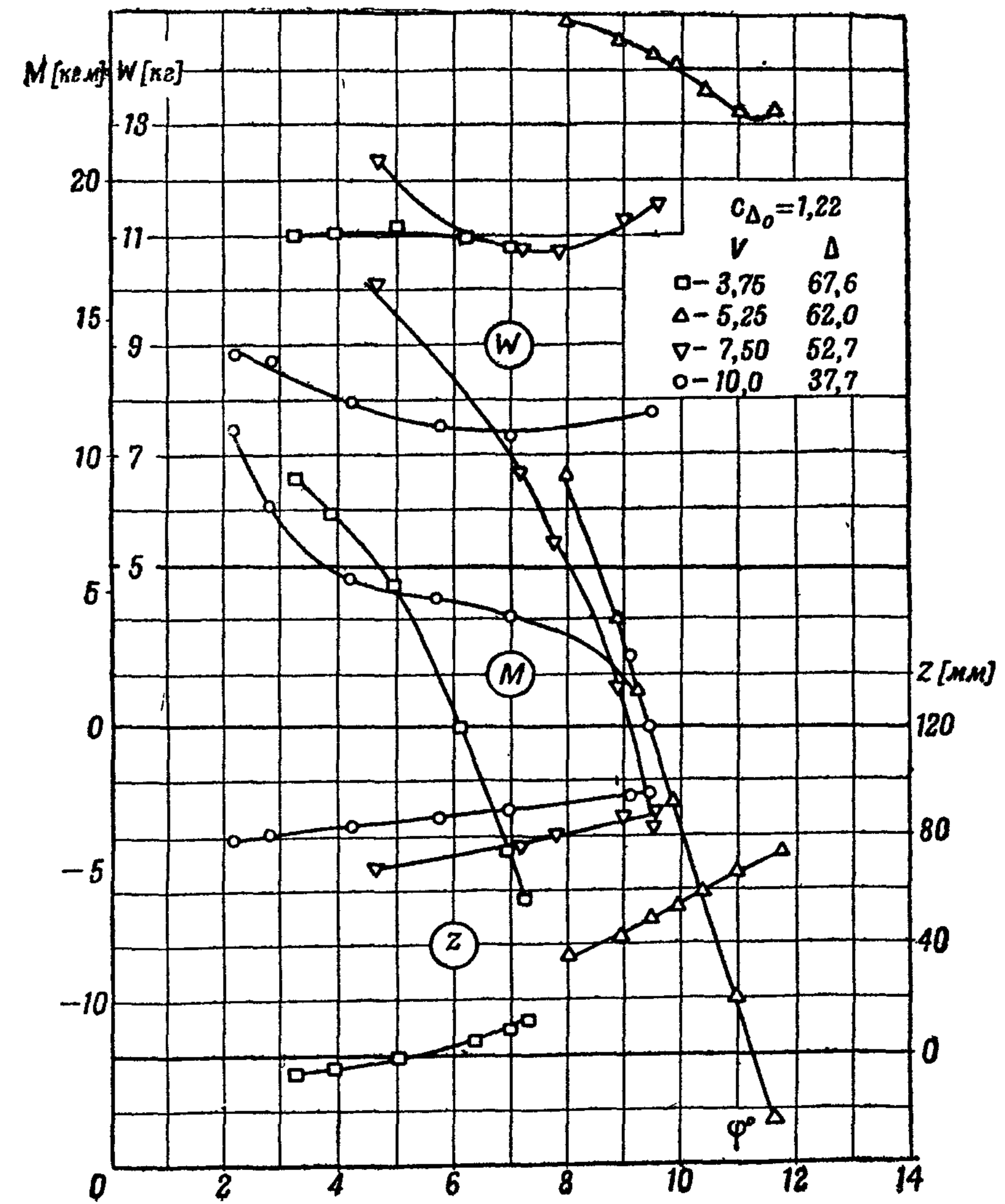
Таблица плазовых координат модели № 1 (фиг. 133)

Таблица XVII

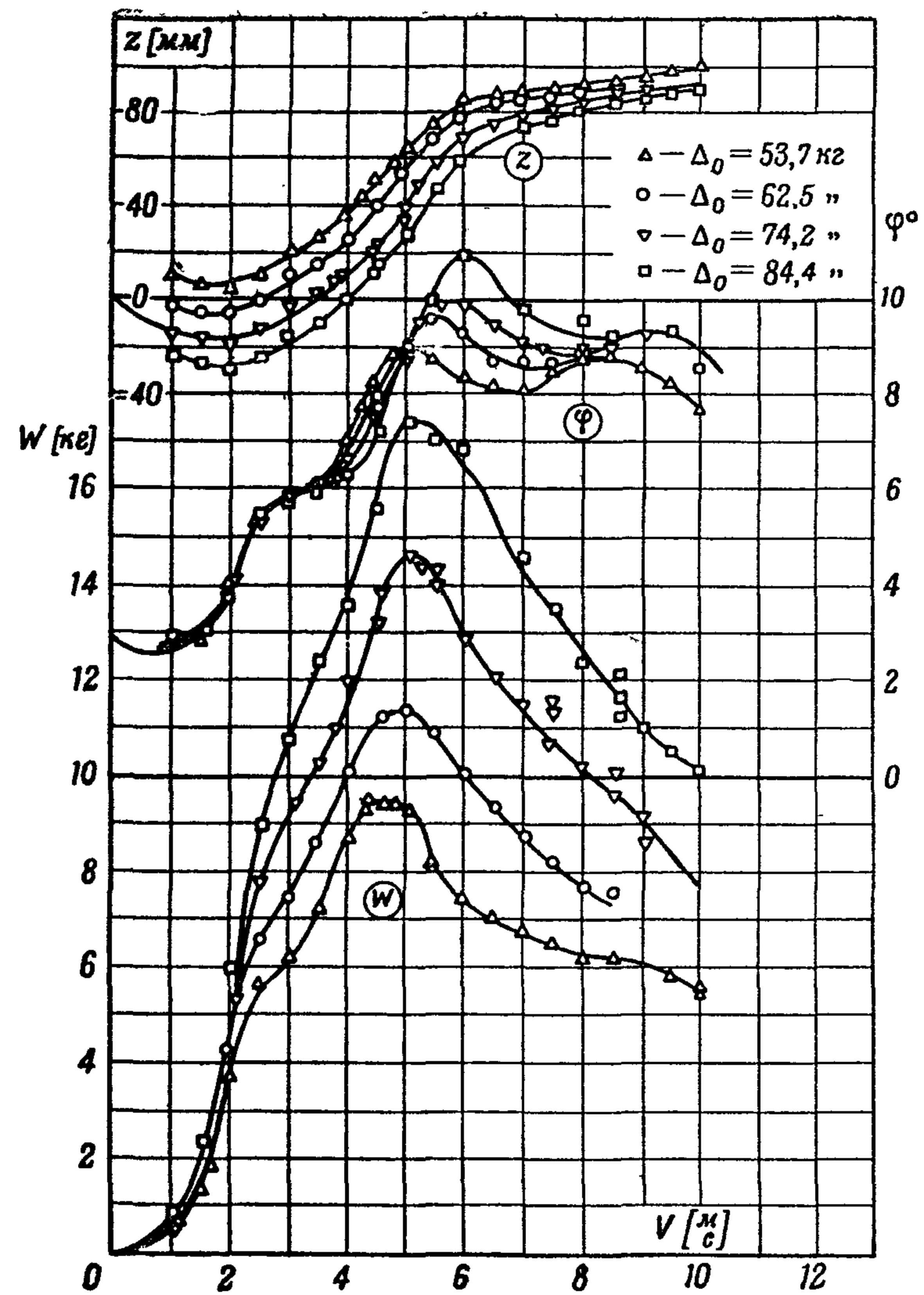
№ шп	l	l	$\frac{1}{2} B$	h	r	A	a	R	R ₁	a ₂	$\frac{1}{2} B_0$	a ₁	β	β'	WL		№ шп
															I—250	II—400	
11		1 100,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11
10	67,5	1 033,1	45,6	180,0	3,2	—	240,0	—	112,6	243,6	69,0	—	—	—	44,9	64,0	10
9	47,5	985,6	76,1	135,0	3,12	—	228,3	—	112,6	242,2	75,0	—	53°45'	53°45'	67,9	73,0	9
8	40,6	945,0	95,5	106,5	3,12	—	216,5	—	112,6	240,9	78,9	—	49°30'	49°20'	77,4	78,3	8
7	153,2	791,8	137,7	38,2	3,12	242,2	172,4	80,0	112,6	237,0	87,6	198,3	46°00'	43°45'	87,6	87,6	7
6	146,8	645,0	153,1	10,0	3,12	203,1	133,8	80,0	112,6	233,2	87,6	161,2	44°15'	39°15'	87,6	87,6	6
5	112,5	532,5	156,2	0,18	12,9	181,0	105,78	80,0	112,6	227,68	87,6	141,0	42°45'	35°00'	87,6	87,6	5
4	112,5	420,0	156,25	0	26,2	156,0	85,6	80,0	112,6	226,1	87,6	120,5	39°00'	30°00'	87,6	87,6	4
3	112,5	307,5	156,25	0	37,4	131,0	68,8	80,0	112,6	222,6	87,6	101,0	35°00'	25°00'	87,6	87,6	3
2	113,0	194,5	156,25	0	48,7	114,0	56,6	80,0	112,6	219,7	87,6	87,2	31°30'	21°15'	87,6	87,6	2
1	105,75	88,75	156,25	0	57,8	107,8	51,4	80,0	112,6	216,7	87,6	82,7	30°20'	19°40'	87,6	87,6	1
0 _H	88,75	0	156,25	0	61,5	106,0	50,0	80,0	112,6	214,5	87,6	81,0	30°15'	19°00'	87,6	87,6	0 _H
0 _K	0	0	156,25	10,0	51,5	—	92,5	—	112,6	214,3	87,6	—	30°04'	30°04'	87,6	87,6	0 _K
1	123,3	123,3	153,1	22,2	44,0	—	104,9	—	112,6	212,9	87,6	—	30°06'	30°06'	87,6	87,6	1
2	125,0	248,3	148,0	34,7	36,5	—	116,7	—	112,6	207,2	87,6	—	30°28'	30°28'	87,6	87,6	2
3	112,15	360,45	140,3	46,0	29,7	—	125,0	—	112,6	204,0	87,6	—	30°35'	30°35'	87,6	87,6	3
4	112,55	473,0	129,7	57,2	23,0	—	131,3	—	112,6	200,6	87,6	—	30°57'	30°57'	87,6	87,6	4
5	112,45	585,45	117,8	64,5	20,0	—	130,1	—	112,6	197,5	87,6	—	30°18'	30°18'	87,6	87,6	5
6	123,05	708,5	102,2	68,7	20,0	—	121,0	—	112,6	194,0	87,6	—	28°10'	28°10'	87,6	87,6	6
6'	0	708,5	102,2	88,7	13,6	—	147,4	—	112,6	194,0	87,6	—	—	—	87,6	87,6	6'
7	112,5	821,0	87,0	115,5	6,25	—	186,1	—	—	—	87,0	—	—	—	87,0	87,0	7
8	112,5	933,5	82,5	142,3	6,25	—	209,5	—	—	—	82,5	—	—	—	82,5	82,5	8
9	112,5	1 046,0	77,1	169,2	6,25	—	231,8	—	—	—	77,1	—	—	—	77,1	77,1	9
10	112,5	1 158,5	72,0	195,8	6,25	—	254,2	—	—	—	72,0	—	—	—	66,7	72,0	10
11	112,5	1 271,0	67,0	222,4	6,25	—	276,4	—	—	—	67,0	—	—	—	35,0	67,0	11
12	112,5	1 383,5	61,4	249,8	6,25	—	299,4	—	—	—	61,4	—	—	—	25,0	61,4	12
13	112,5	1 496,0	56,1	276,2	6,25	—	321,6	—	—	—	56,1	—	—	—	—	56,1	13
14	111,5	1 607,5	51,0	303,3	6,25	—	344,1	—	—	—	51,0	—	—	—	—	51,0	14
15	56,2	1 668,7	48,3	316,2	6,25	—	355,0	—	—	—	48,3	—	—	—	—	48,3	15
16	248,0	1 911,7	—	374,0	—	—	389,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16



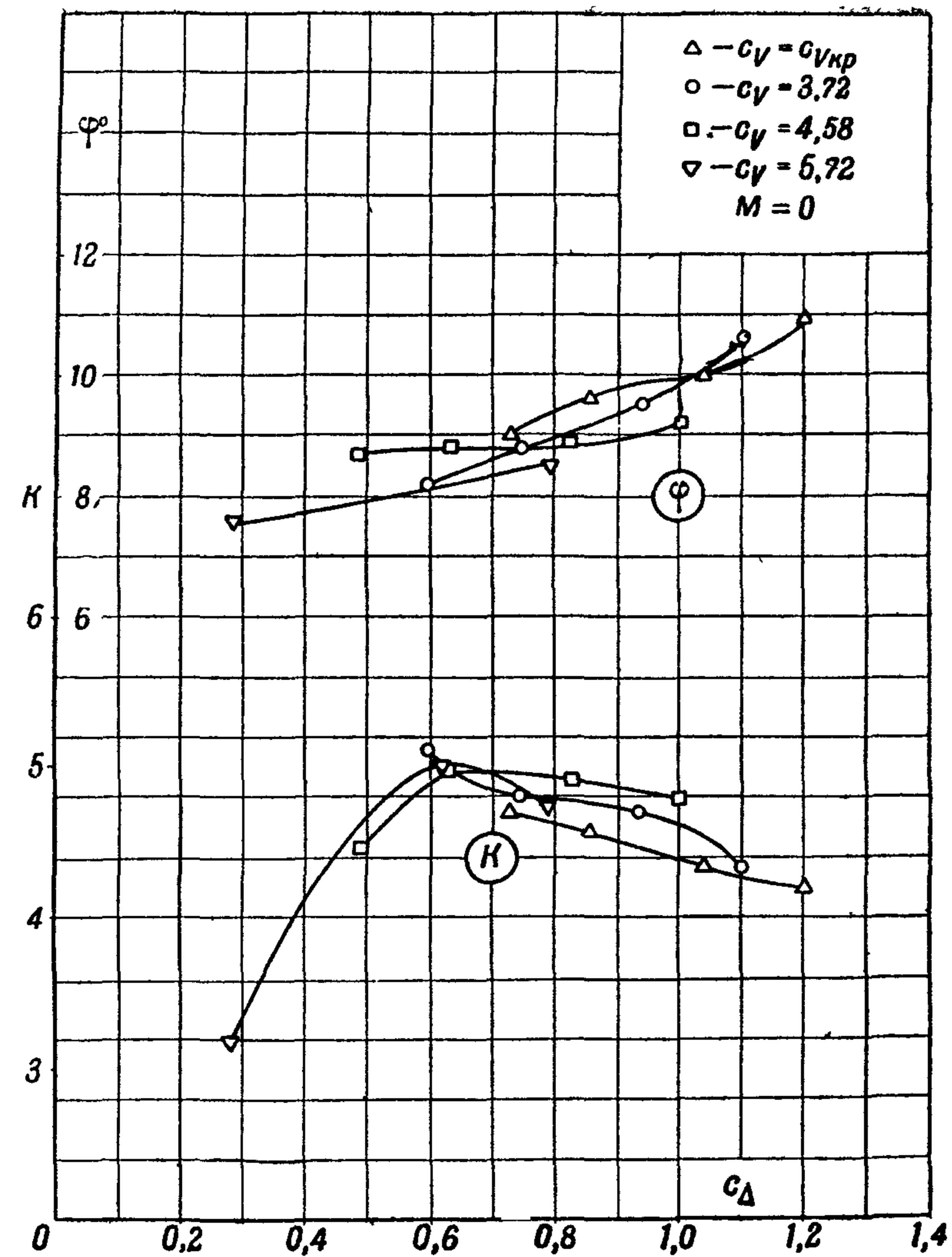
Фиг. 134



Фиг. 136

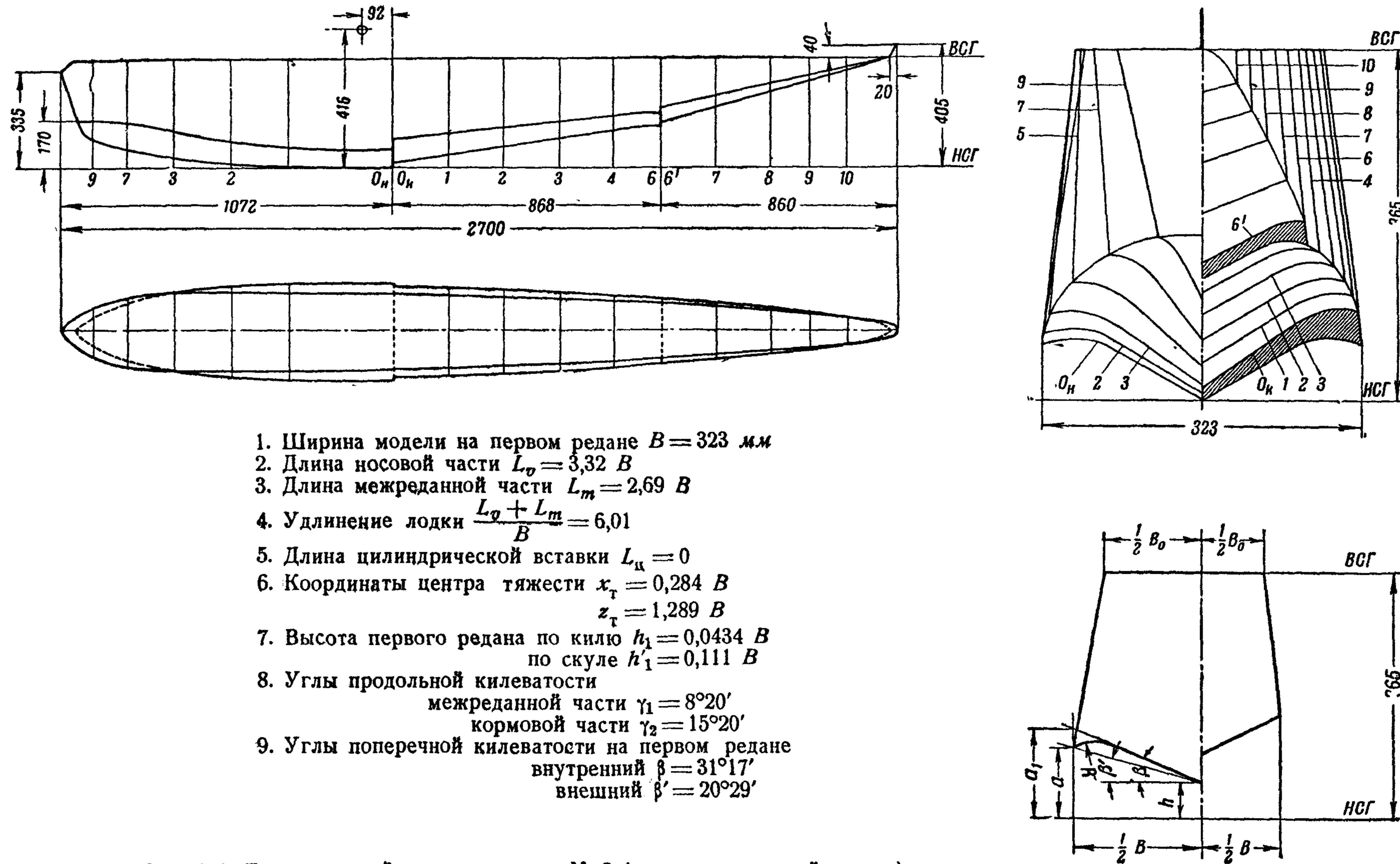


Фиг. 135



Фиг 137

Фиг. 135--137. Графики результатов исполнений модели № 1 (фиг. 133)

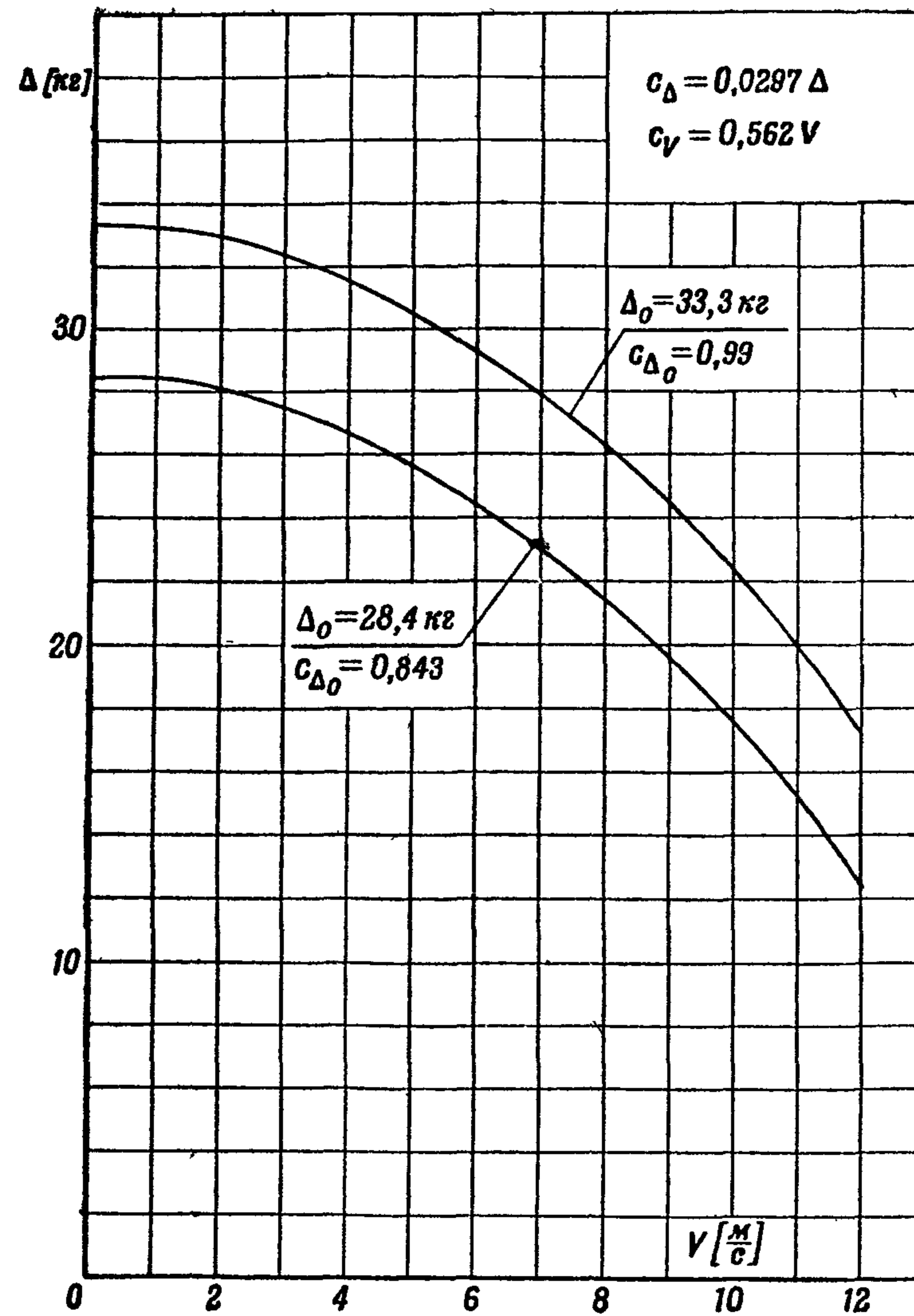


Фиг. 138. Теоретический чертеж модели № 2 (модели летающей лодки)

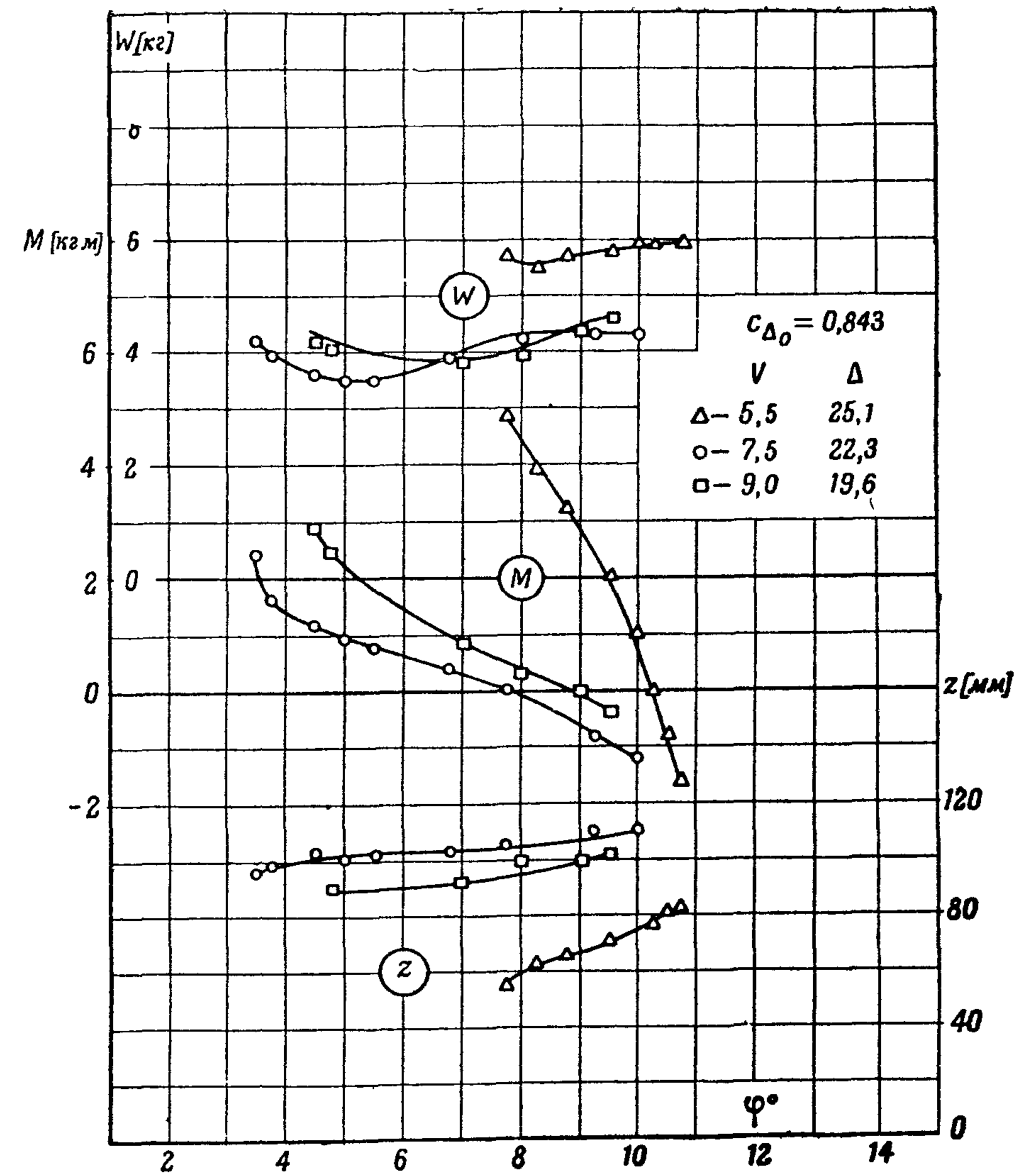
Таблица плазовых координат модели № 2 (фиг. 138)

Таблица XVIII

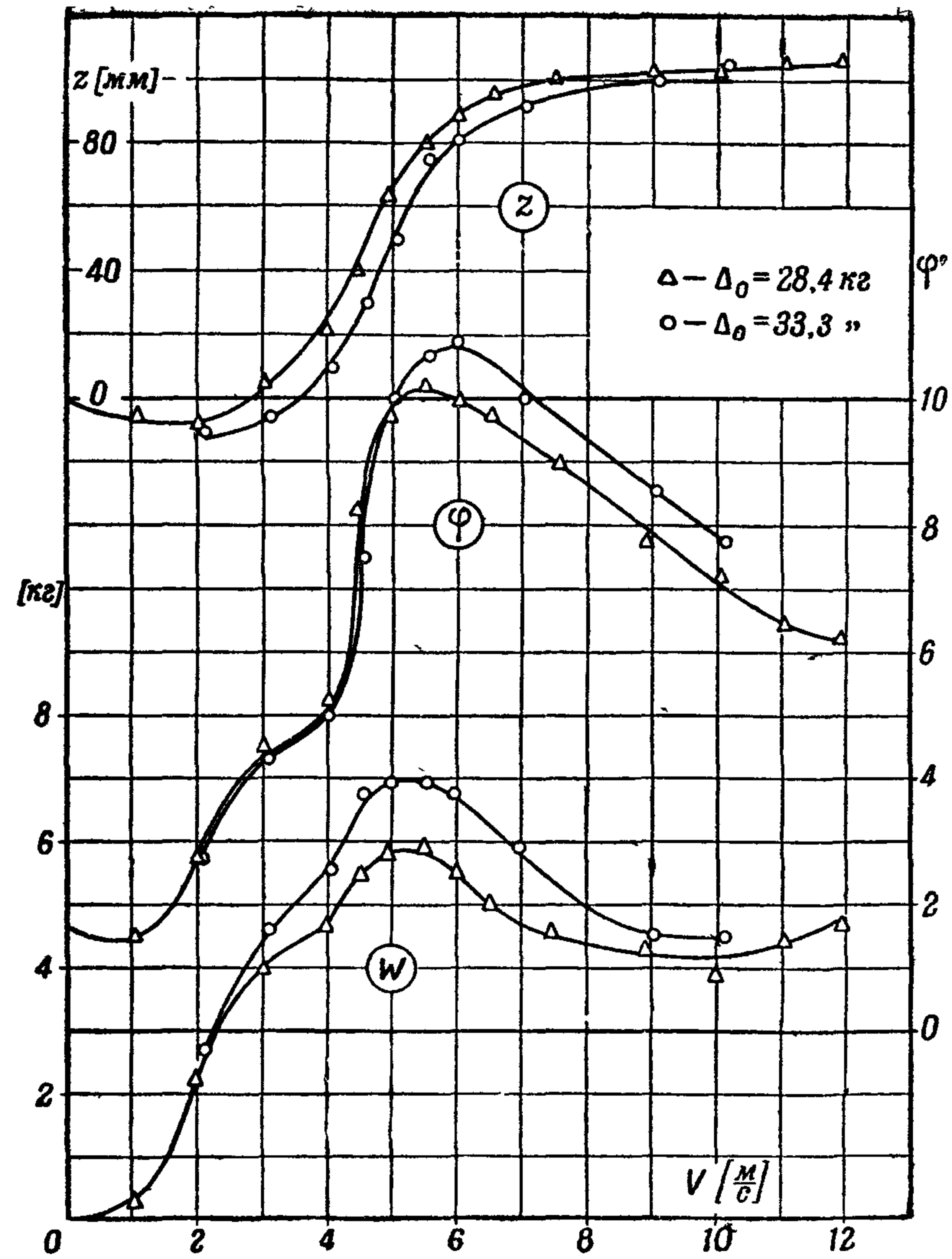
№ шп.	Δl	l	$\frac{1}{2} B$	h	a	R	a_1	$\frac{1}{2} B_0$	H	β	β'	№ шп
11		1 072,0	—	335,0	—	—	—	—	335,0	—	—	11
10	40,0	1 032,0	—	178,6	—	—	—	—	365,0	—	—	10
9	60,0	972,0	45,3	106,0	168,3	62,8	188,9	88,0	365,0	54° 15'	52° 59'	9
8	60,0	912,0	74,1	77,9	161,0	64,4	191,2	101,5	365,0	56° 49'	48° 16'	8
7	60,0	852,0	95,3	62,5	151,0	66,2	185,5	112,3	365,0	52° 15'	42° 54'	7
6	75,0	777,0	116,0	46,7	137,4	68,2	172,9	120,5	365,0	47° 37'	38° 06'	6
5	75,0	702,0	131,8	34,6	122,2	70,2	158,0	125,5	365,0	43° 09'	33° 38'	5
4	90,0	612,0	145,5	23,7	105,1	72,8	140,7	129,2	365,0	38° 46'	29° 11'	4
3	90,0	522,0	154,2	15,8	90,7	75,4	126,6	130,0	365,0	35° 37'	25° 53'	3
2	182,0	340,0	159,8	6,4	70,6	80,6	107,6	129,0	365,0	32° 24'	21° 54'	2
1	160,0	180,0	161,8	2,4	62,8	85,0	100,8	126,3	365,0	31° 17'	20° 29'	1
0 _н	180,0	0	161,5	0	59,0	90,0	98,2	122,0	365,0	31° 17'	20° 05'	0 _н
0 _к	0	0	157,0	14,0	95,0	90,0	136,2	122,0	365,0	37° 56'	27° 16'	0 _к
1	180,0	180,0	151,1	38,9	110,1	81,6	139,9	117,9	365,0	33° 43'	25° 13'	1
2	180,0	360,0	141,9	63,7	125,5	73,4	152,9	111,5	365,0	32° 08'	23° 33'	2
3	180,0	540,0	129,9	88,9	140,9	65,0	166,3	103,5	365,0	30° 46'	21° 51'	3
4	170,0	710,0	116,7	112,5	155,5	57,2	178,7	95,3	365,0	29° 36'	20° 14'	4
5	80,0	790,0	111,0	121,0	160,2	53,6	183,6	90,0	365,0	29° 28'	19° 26'	5
6	78,0	868,0	105,4	127,0	163,0	50,0	187,0	84,9	365,0	29° 54'	18° 51'	6
6'	0	868,0	102,9	142,8	187,0	50,0	198,6	84,9	365,0	28° 29'	20° 38'	6'
7	180,0	1 048,0	84,6	196,1	227,8	—	227,8	71,8	365,0	26° 09'	26° 09'	7
8	170,0	1 218,0	65,2	247,7	270,8	—	270,8	57,6	365,0	19° 29'	19° 29'	8
9	128,0	1 346,0	48,5	286,1	301,6	—	301,6	44,8	365,0	17° 43'	17° 43'	9
10	120,0	1 466,0	33,0	321,7	330,4	—	330,4	32,0	365,0	14° 46'	14° 46'	10
11	162,0	1 628,0	—	365,0	365,0	—	—	—	405,0	—	—	11



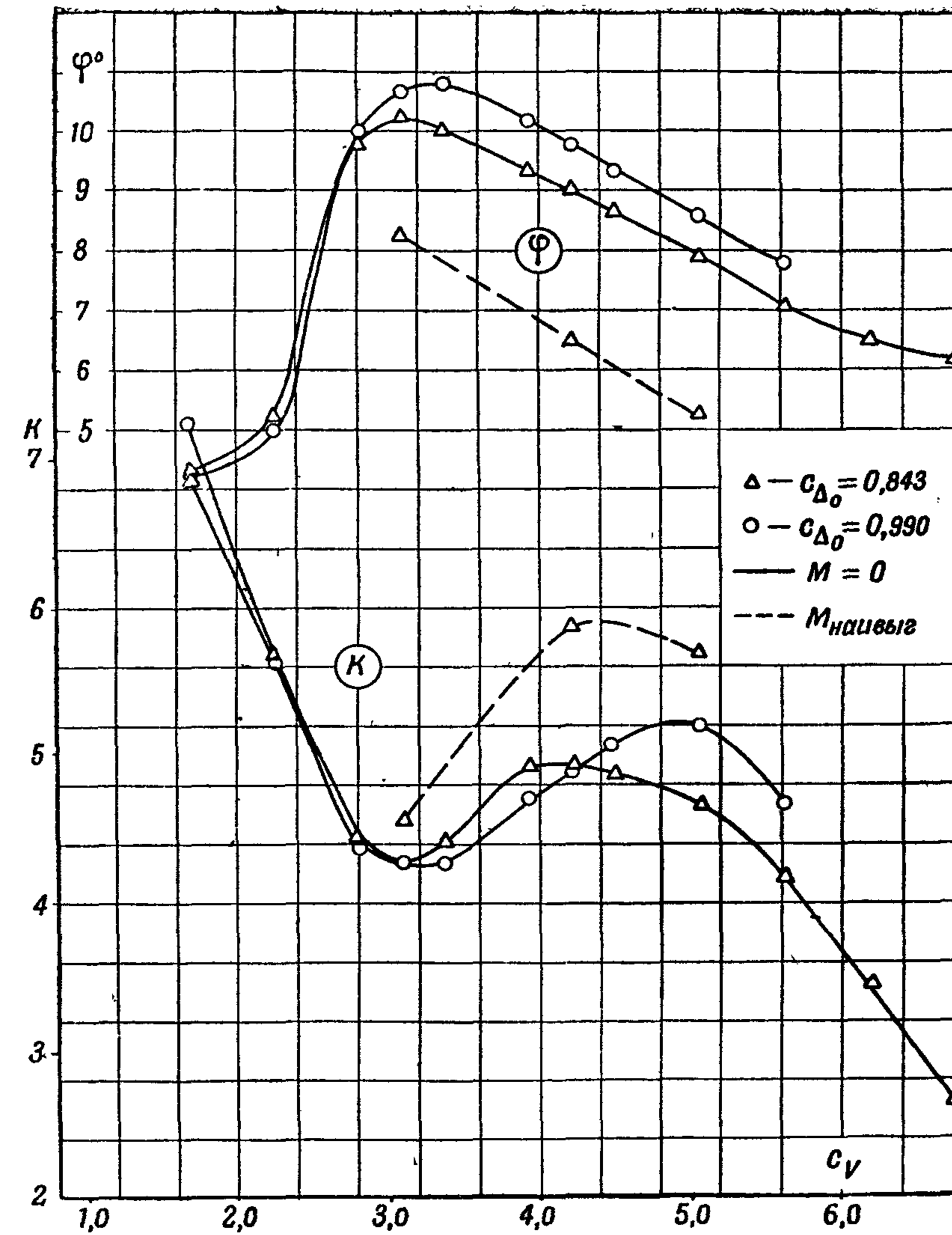
Фиг. 139



Фиг 141

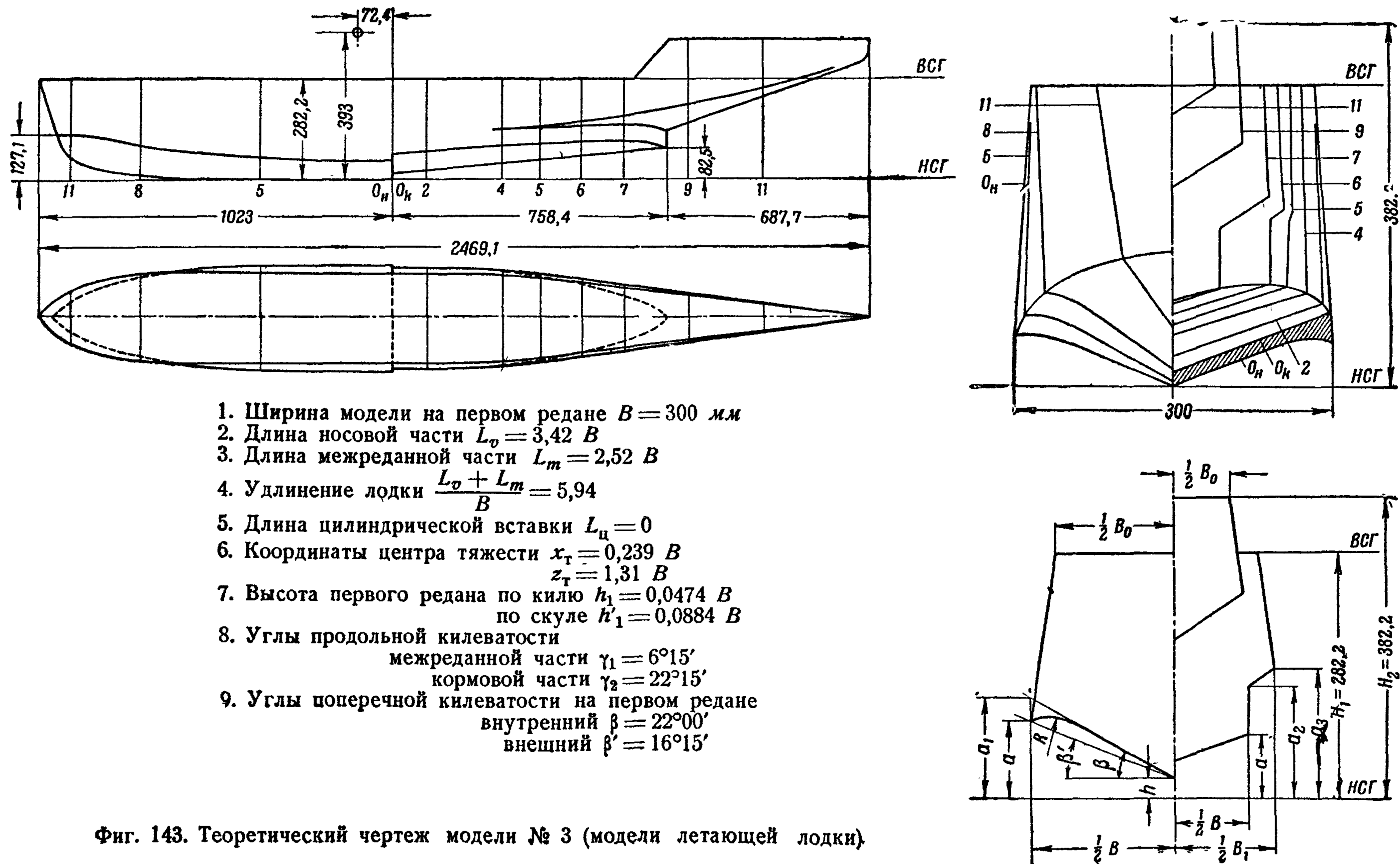


Фиг. 140)



Фиг. 142

Фиг. 140—142. Графики результатов испытаний модели № 2 (фиг. 138)

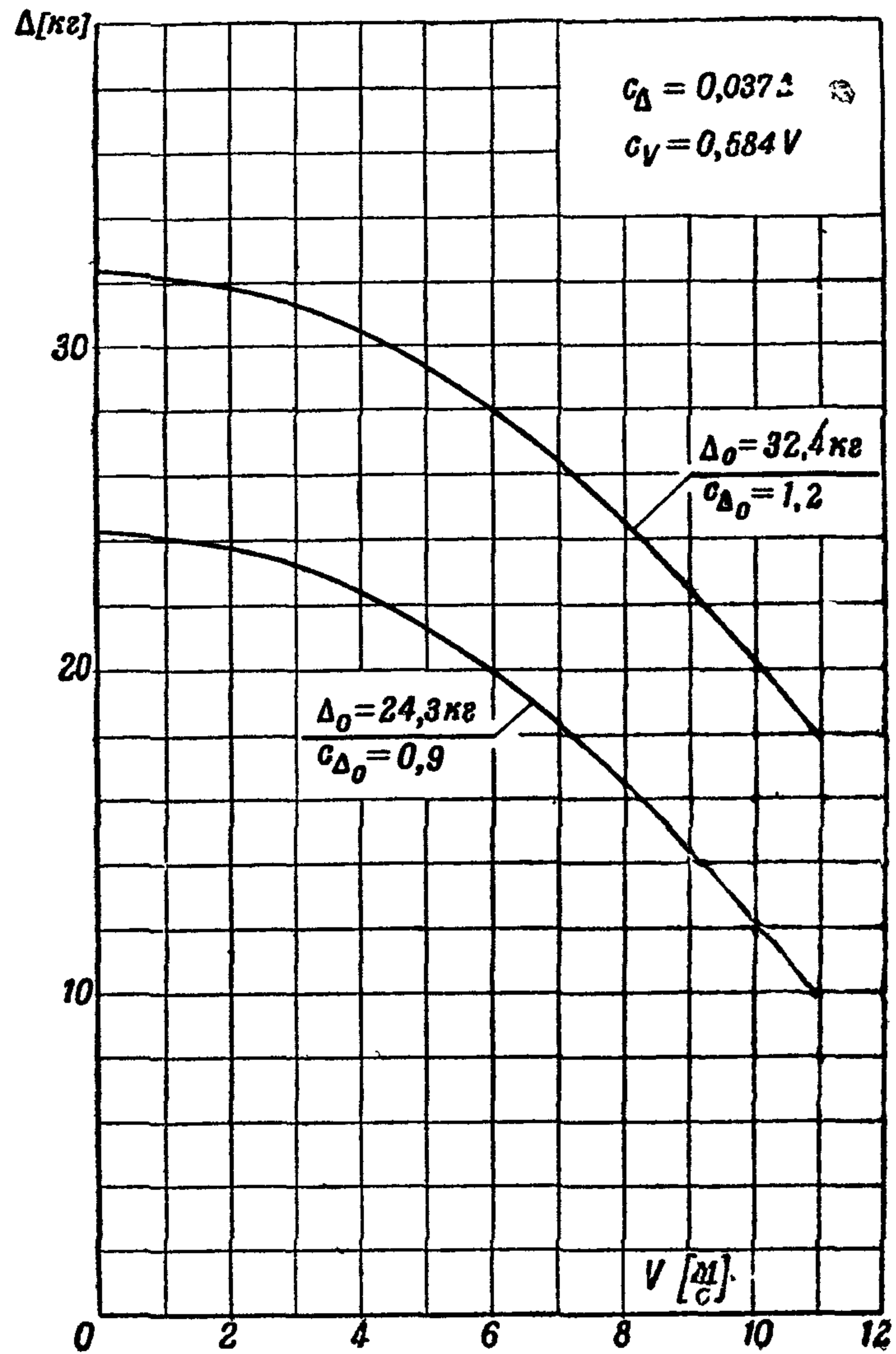


Фиг. 143. Теоретический чертеж модели № 3 (модели летающей лодки).

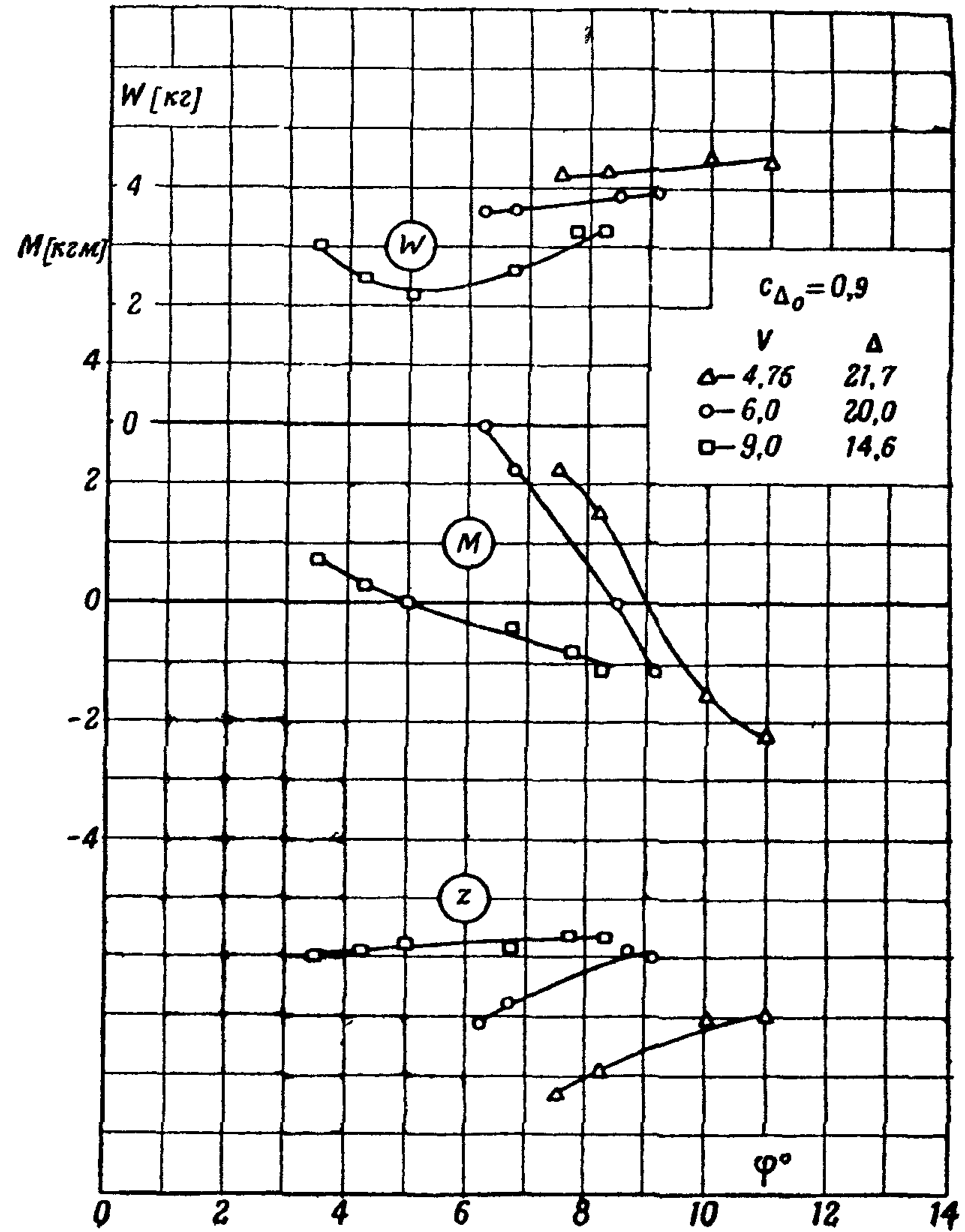
Таблица плазовых координат модели № 3 (фиг. 143)

Т а б л и ц а XIX

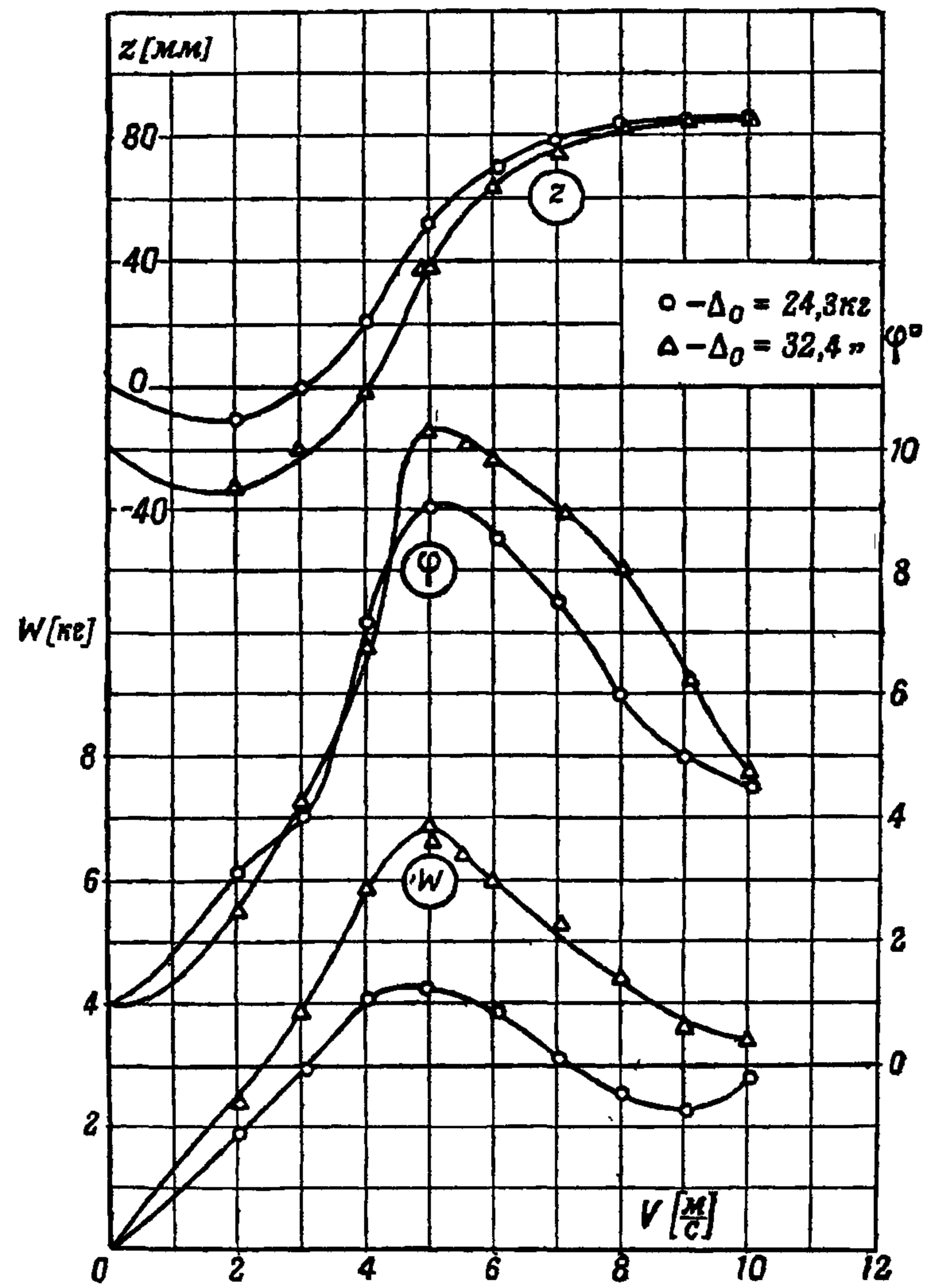
№ шп.	Δl	l	$\frac{1}{2} B$	$\frac{1}{2} B_1$	h	a	R	a_2	a_3	$\frac{1}{2} B_0$	H_1	H_2	a_1	β'	β	№ шп.
13		1 023,0	—	—	—	—	—	—	—	—	282,2	—	—	—	—	13
12	44,1	978,9	7,4	—	108,1	123,4	—	—	—	44,0	282,2	—	123,4	64°10'	64°10'	12
11	44,1	934,8	46,6	—	56,2	120,7	—	—	—	71,0	282,2	—	122,0	54°00'	54°35'	11
10	44,1	890,7	71,0	—	34,9	113,2	—	—	—	91,0	282,2	—	115,5	47°45'	48°38'	10
9	88,2	802,5	101,8	—	24,2	104,2	88,1	—	—	115,6	282,2	—	110,9	38°00'	40°30'	9
8	88,2	714,3	120,2	—	15,2	88,6	88,1	—	—	128,2	282,2	—	100,9	31°24'	35°48'	8
7	88,2	626,1	132,0	—	9,4	77,2	88,1	—	—	132,0	282,2	—	92,9	26°05'	32°20'	7
6	88,2	537,9	139,6	—	5,2	67,2	88,1	—	—	132,0	282,2	—	83,8	24°00'	29°30'	6
5	88,2	449,7	144,7	—	2,2	59,7	88,1	—	—	132,0	282,2	—	77,0	21°42'	27°23'	5
4	88,2	361,5	147,4	—	1,0	54,2	88,1	—	—	132,0	282,2	—	71,7	19°54'	25°36'	4
3	88,2	273,3	148,8	—	0	50,2	88,1	—	—	132,0	282,2	—	67,5	18°47'	24°30'	3
2	88,2	185,1	149,2	—	0	47,2	88,1	—	—	132,0	282,2	—	64,3	17°36'	23°18'	2
1	70,5	114,6	150,0	—	0	45,2	88,1	—	—	132,0	282,2	—	62,0	16°42'	22°25'	1
0 _н	114,6	0	150,0	—	0	44,0	88,1	—	—	132,0	282,2	—	60,8	16°15'	22°00'	0 _н
0 _к	0	0	148,0	—	14,2	70,5	—	—	—	132,0	282,2	—	70,5	20°48'	20°48'	0 _к
1	44,1	44,1	145,0	—	21,8	74,2	—	—	—	132,0	282,2	—	74,2	19°48'	19°48'	1
2	88,2	132,3	141,5	—	29,3	78,2	—	—	—	132,0	282,2	—	78,2	19°05'	19°05'	2
3	114,7	247,0	135,3	—	39,2	83,0	—	—	—	128,5	282,2	—	83,0	17°54'	17°54'	3
4	114,7	361,7	127,0	—	49,2	87,9	—	—	—	121,0	282,2	—	87,9	16°48'	16°48'	4
5	114,7	476,4	114,6	116,0	59,2	92,9	—	155,0	163,2	110,8	282,2	—	92,9	16°15'	16°15'	5
6	114,7	591,1	91,6	104,9	69,4	96,2	—	158,0	184,0	98,8	282,2	—	96,2	14°15'	14°15'	6
7	114,7	705,8	44,0	92,0	79,2	90,7	—	149,2	204,4	86,1	282,2	—	97,7	10°35'	10°35'	7
8	105,7	811,5	—	79,0	153,6	223,3	—	—	—	74,3	—	382,2	223,3	41°42'	41°42'	8
9	105,7	917,2	—	66,1	187,9	242,4	—	—	—	63,1	—	382,2	242,4	39°25'	39°25'	9
10	105,7	1 022,9	—	53,0	220,0	261,4	—	—	—	57,1	—	382,2	261,4	38°00'	38°00'	10
11	105,7	1 128,6	—	40,2	256,2	280,6	—	—	—	40,2	—	382,2	280,6	31°18'	31°18'	11
12	105,7	1 234,3	—	27,3	—	—	—	—	—	—	—	382,2	—	—	—	12
13	211,8	1 446,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	382,2	—	—	—	13



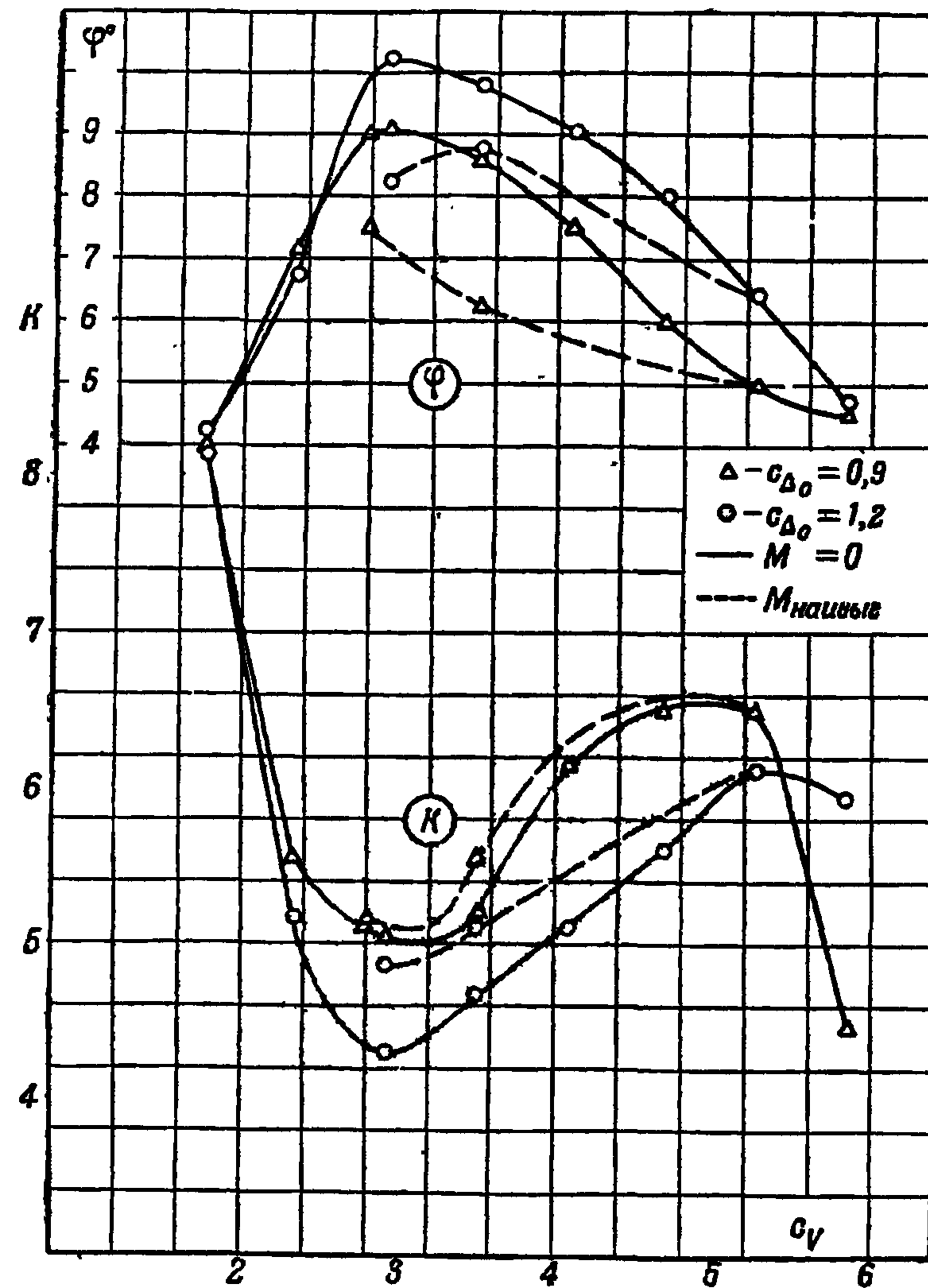
Фиг. 144



Фиг. 146

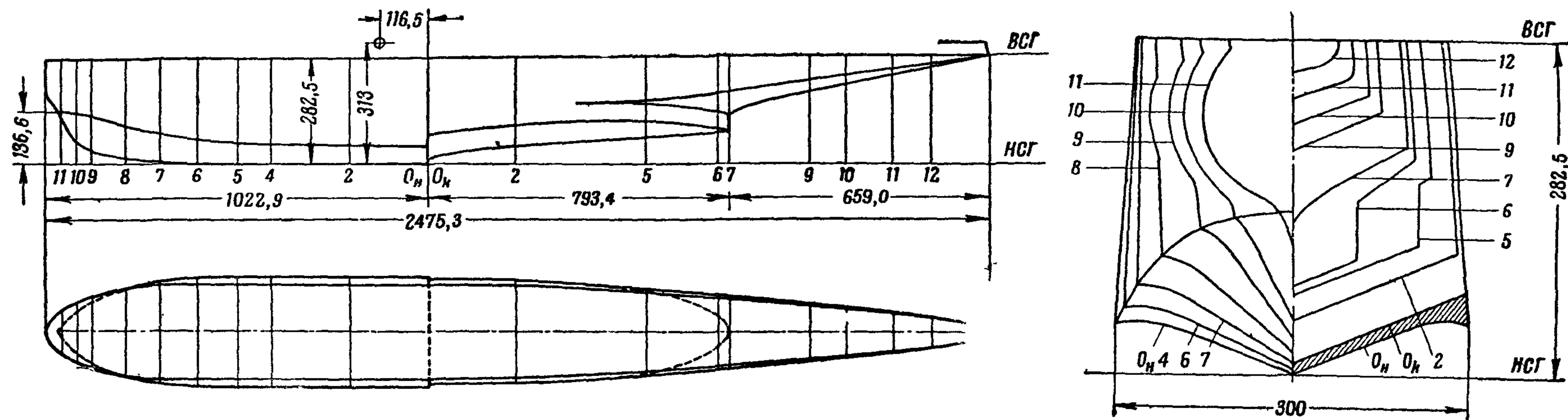


Фиг. 145

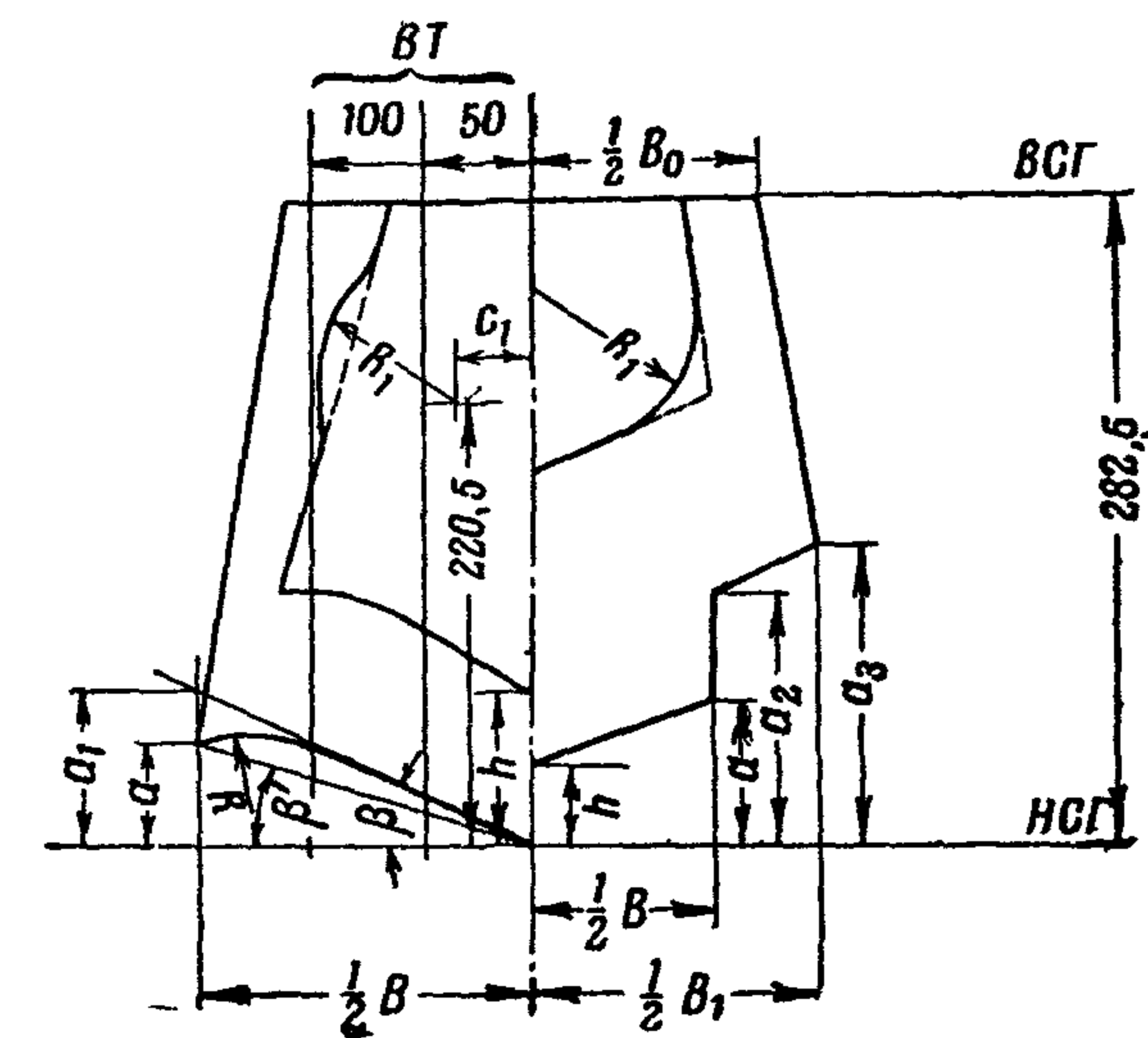


Фиг. 147

Фиг. 145—147. Графики результатов испытаний модели № 3 (фиг. 143)



1. Ширина модели на первом редане $B = 300$ мм
2. Длина носовой части $L_v = 3,42 B$
3. Длина межреданной части $L_m = 2,64 B$
4. Удлинение лодки $\frac{L_v + L_m}{B} = 6,06$
5. Длина цилиндрической вставки $L_{\text{ц}} = 1,40 B$
6. Координаты центра тяжести $z_T = 0,388 B$
 $z_T = 1,042 B$
7. Высота первого редана по килю $h_1 = 0,0327 B$
по скуле $h'_1 = 0,0851 B$
8. Углы продольной килеватости
межреданной части $\gamma_1 = 5^\circ 30'$
кормовой части $\gamma_2 = 17^\circ 30'$
9. Углы поперечной килеватости на первом редане
внутренний $\beta = 22^\circ 00'$
внешний $\beta' = 16^\circ 15'$

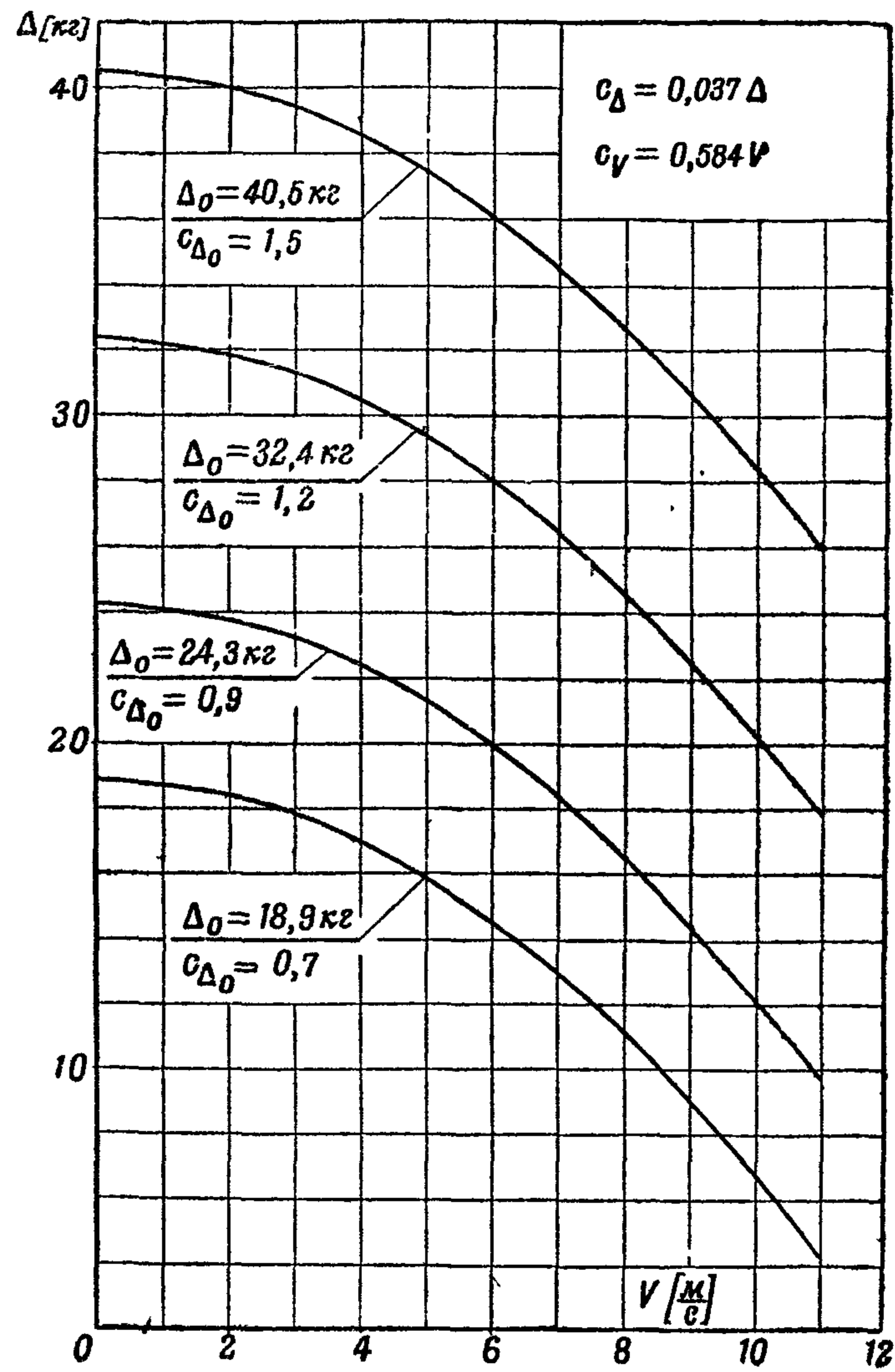


Фиг. 148. Теоретический чертёж модели № 4 (модели летающей лодки)

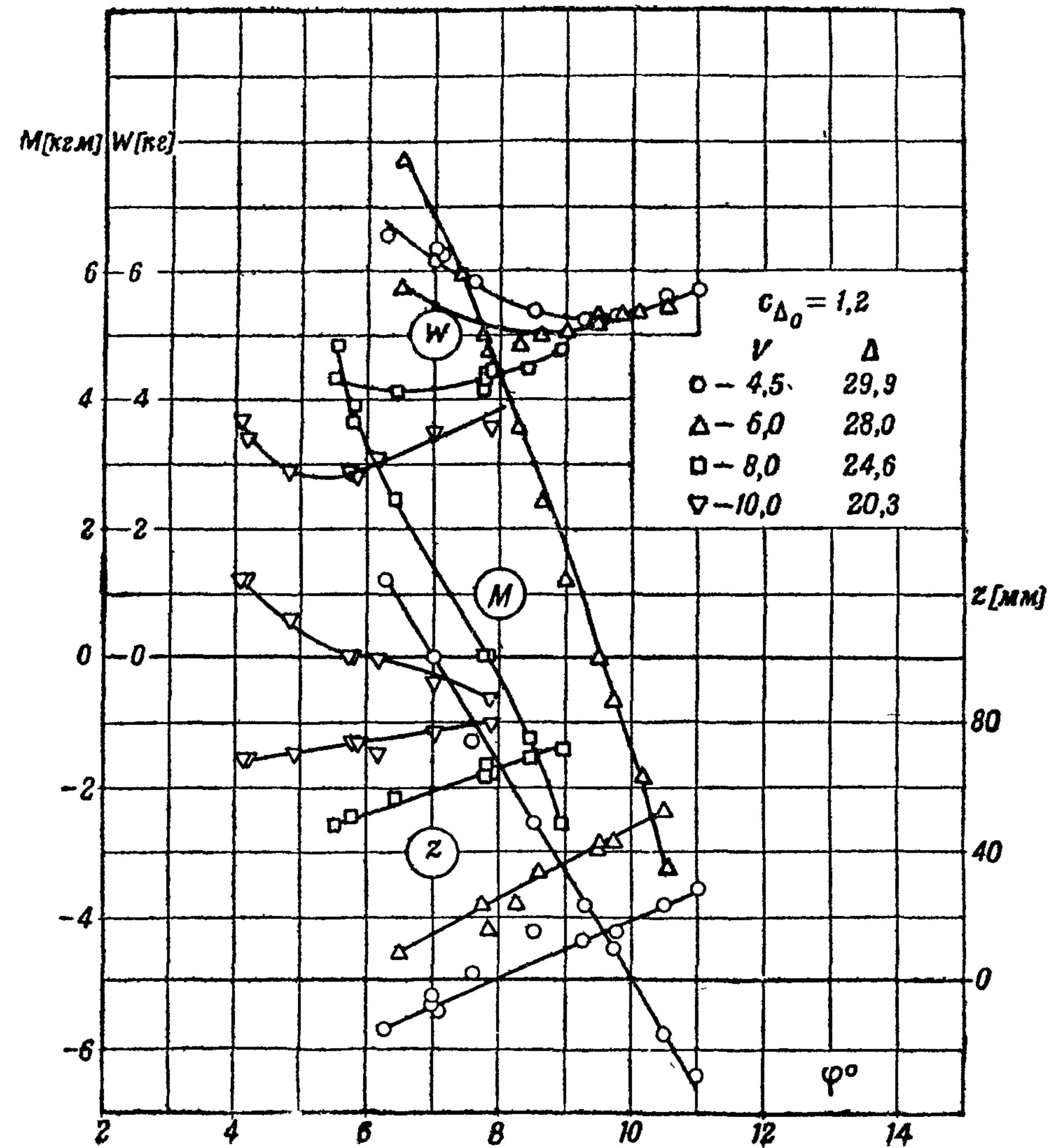
Таблица плазовых координат модели № 4 (фиг 148)

Таблица XX

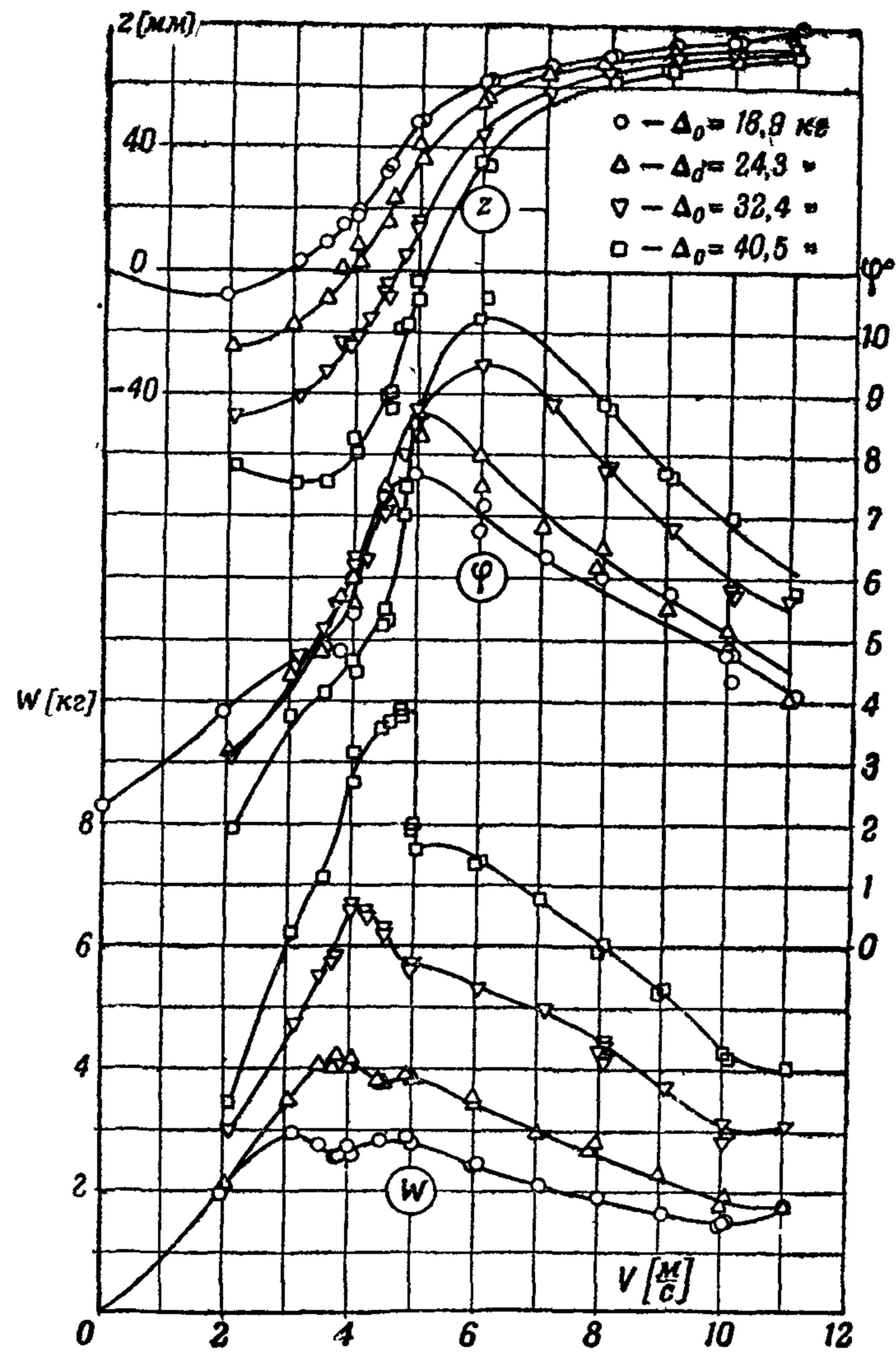
№ шп	Δl	l	$\frac{1}{2}B$	$\frac{1}{2}B_1$	h	a	R	R_1	a_2	a_3	$\frac{1}{2}B_0$	a_1	c_1	β	ρ	BT		№ шп
																I—50	II—100	
12	44 1	1 022 9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12
11	44 1	978 8	11 8	—	104 0	136 9	88 1	76 4	—	—	55 1	—	0	69°45'	69°45'	—	—	11
10	44 1	934 7	47 5	—	43 0	131 4	88 1	88 1	—	—	79 3	—	4 8	63°30'	61°35'	—	—	10
9	88 2	890 6	76 8	—	30 2	123 0	88 1	88 1	—	—	95 2	—	17 1	54°00'	50°00'	—	—	9
8	97 0	802 4	110 6	—	18 6	100 5	88 1	88 1	—	—	115 6	—	32 5	41°00'	36°30'	—	—	8
7	97 0	705 4	130 9	—	10 0	75 6	88 1	88 1	—	—	127 5	—	40 9	31°15'	26°25'	—	—	7
6	97 0	608 4	142 2	—	4 8	57 4	88 1	—	—	—	131 6	—	—	25°15'	19°30'	—	—	6
5	97 0	511 4	147 5	—	1 2	48 0	88 1	—	—	—	132 1	—	—	22°25'	16°15'	—	—	5
4	97 0	414 4	150 0	—	0	44 0	88 1	—	—	—	132 5	—	—	22°00'	16°15'	—	—	4
3	158 8	317 4	150 0	—	0	44 0	88 1	—	—	—	132 6	—	—	22 00	16°15'	—	—	3
2	158 8	211 6	150 0	—	0	44 0	88 1	—	—	—	132 3	—	—	22°00'	16°15'	—	—	2
1	158 8	105 8	150 0	—	0	44 0	88 1	—	—	—	132 0	—	—	22°00'	16°15'	—	—	1
0 _н	0	0	150 0	—	0	44 0	88 1	—	—	—	131 9	—	—	22°00'	16°15'	—	—	0 _н
0 _к	114 6	0	148 5	—	9 8	69 5	—	—	—	—	131 9	69 5	—	22°00'	—	29 7	49 9	0 _к
1	114 6	114 6	145 2	—	31 6	90 5	—	—	—	—	129 9	90 5	—	22°00'	—	52 0	72 5	1
2	114 6	229 2	141 0	—	44 9	102 1	—	—	—	—	127 0	102 1	—	22°00'	—	65 5	85 9	2
3	114 6	343 8	133 6	—	53,0	107 5	—	—	—	—	122 1	107 5	—	22°00'	—	73 6	94 0	3
4	114 6	458 4	123 0	125 8	59 7	109 9	—	—	160 2	162 5	116 1	109 9	—	22°00'	—	80 4	100 9	4
5	114 6	573 0	107 1	117 3	65 5	108 9	—	—	160 1	167 4	108 5	108 9	—	22°00'	—	85 9	106 4	5
6	105 8	687 6	74 9	107 5	71 2	101 3	—	—	152 1	175 8	100 0	101 3	—	22°00'	—	91 7	173 4	6
7	0	793 4	0	97 1	76 4	76 5	—	—	128 2	190 0	91 0	76 5	—	25°15'	—	167 8	—	7
7'	105 8	793 4	0	97 1	128 3	76 5	—	—	128 2	190 0	91 0	76 5	—	25°15'	—	188 9	—	7
8	105 8	899 2	—	86 6	166 1	—	—	—	—	204 9	81 2	—	—	24°15'	—	29 7	—	8
9	105 8	1 005 0	—	75 7	188 3	—	—	—	—	219 9	71 2	—	—	23°00'	—	229 6	—	9
10	105 8	1 110 8	—	63 8	210 4	—	—	—	—	234 8	60 5	—	—	20°45'	—	249 3	—	10
11	105 8	1 216 6	—	51 5	232 7	—	—	11 2	—	249 6	50 0	—	—	18°35'	—	—	—	11
12	130 0	1 322 4	—	38 2	255 0	—	—	30 0	—	264 8	38 2	—	—	14°30'	—	—	—	12
13		1 452 4	—	—	282 5	—	—	—	—	282 5	—	—	—	—	—	—	—	13



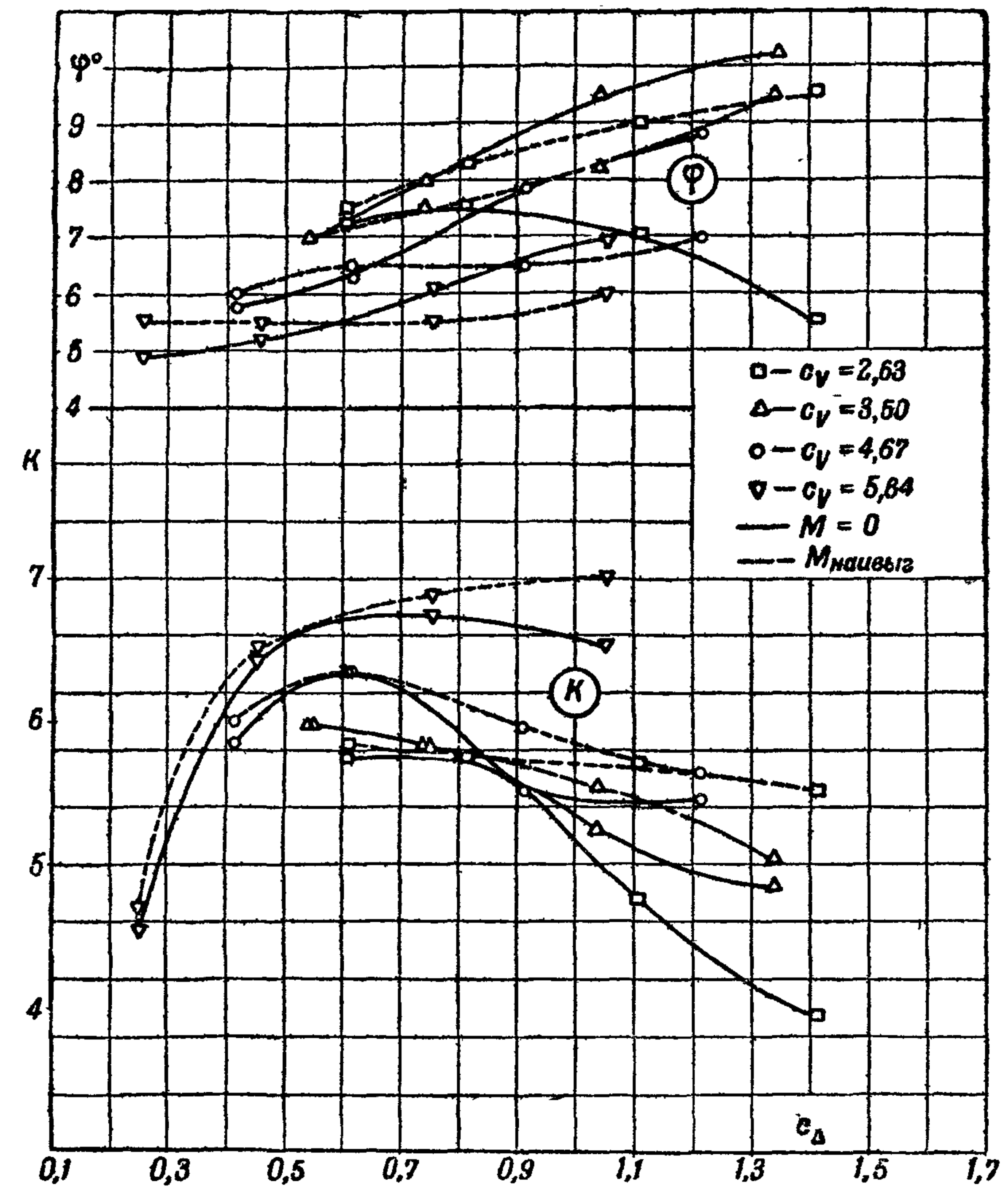
Фиг. 149



Фиг. 151

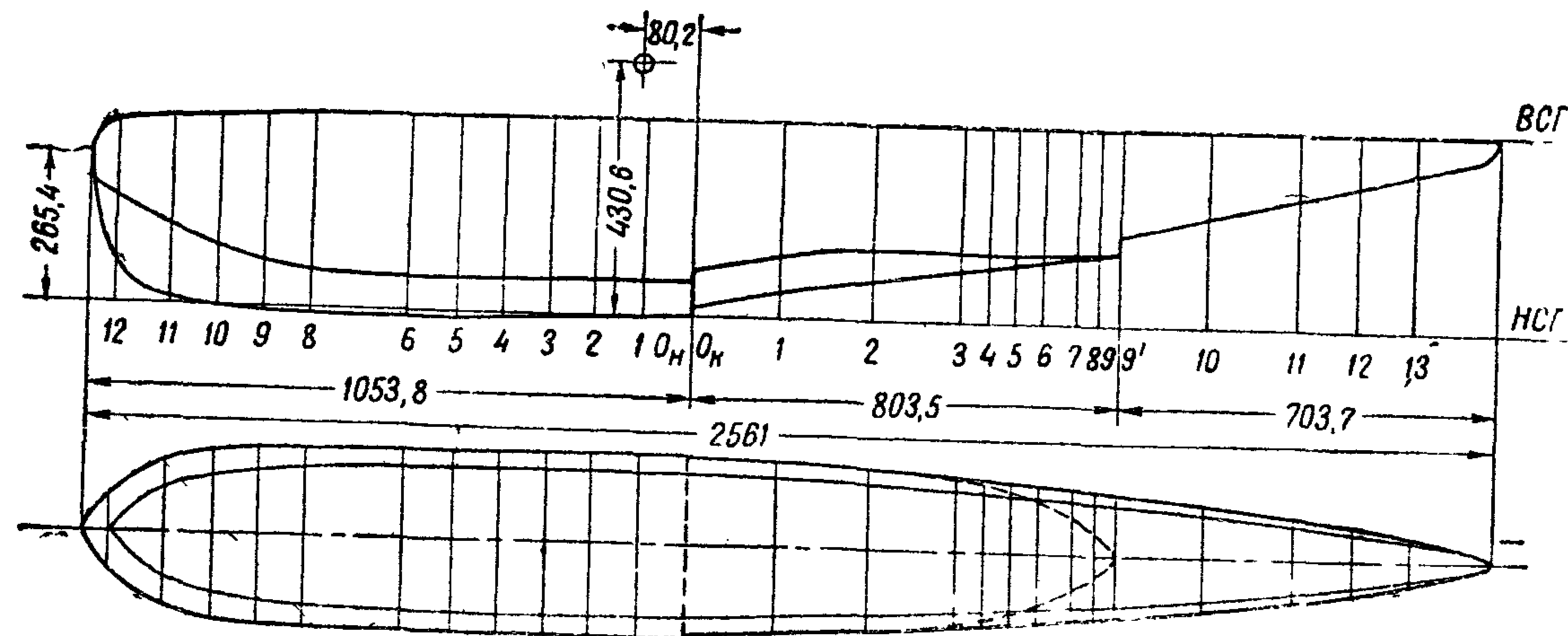


Фиг. 150

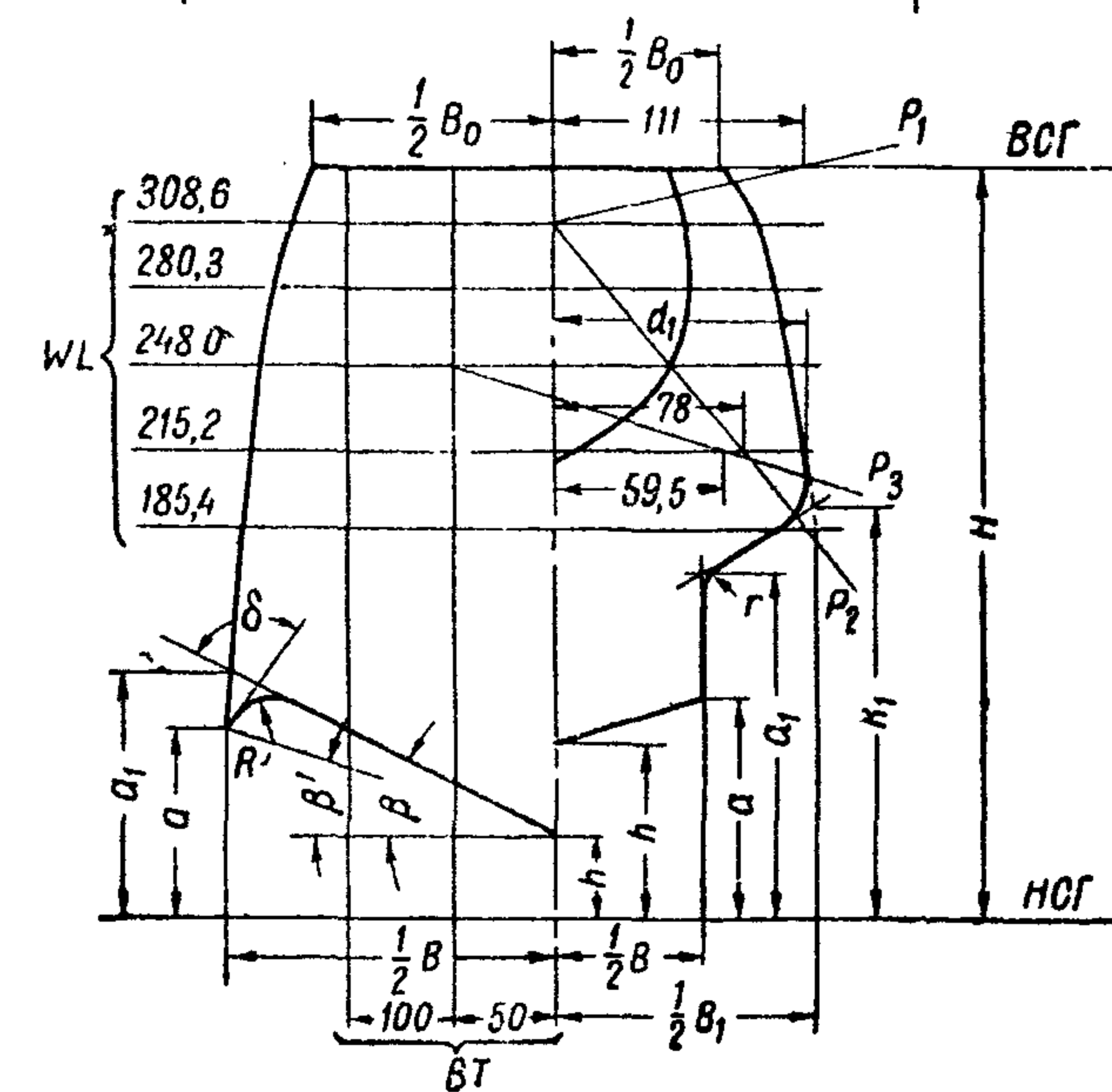
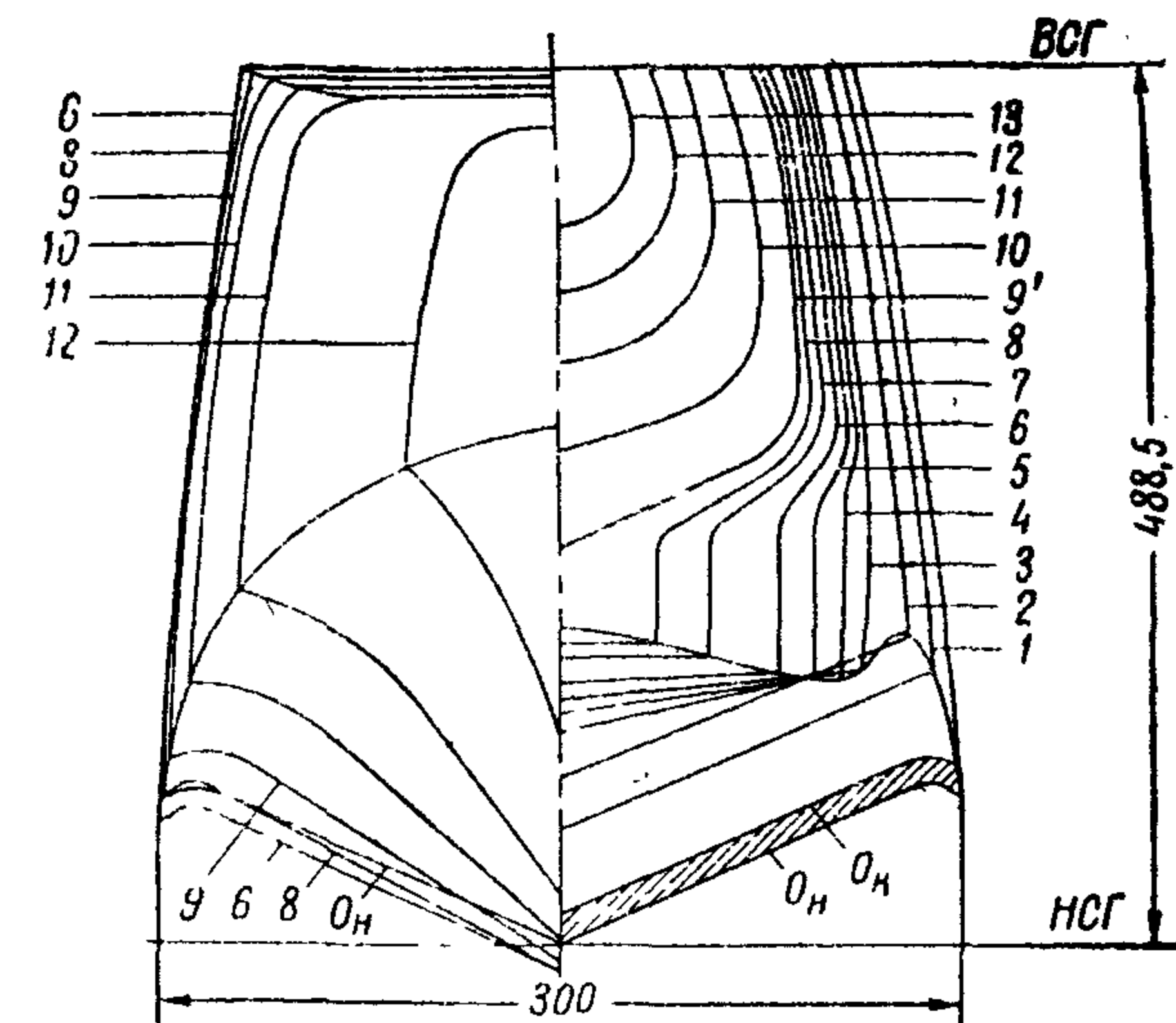


Фиг. 152

Фиг. 150—152. Графики результатов испытаний модели № 4 (фиг. 148)



1. Ширина модели на первом редане $B = 300$ мм
2. Длина носовой части $L_v = 3,52 B$
3. Длина межреданной части $L_m = 2,68 B$
4. Удлинение лодки $\frac{L_v + L_m}{B} = 6,18$
5. Длина цилиндрической вставки $L_{ц} = 0$
6. Координаты центра тяжести $x_T = 0,268 B$
 $z_T = 1,44 B$
7. Высота первого редана по килю $h_1 = 0,0433 B$
по скуле $h'_1 = 0,0457 B$
8. Углы продольной килеватости
межреданной части $\gamma_1 = 8^\circ 37'$
кормовой части $\gamma_2 = 15^\circ 45'$
9. Углы поперечной килеватости на первом редане
внутренний $\beta = 25^\circ 00'$
внешний $\beta' = 20^\circ 30'$

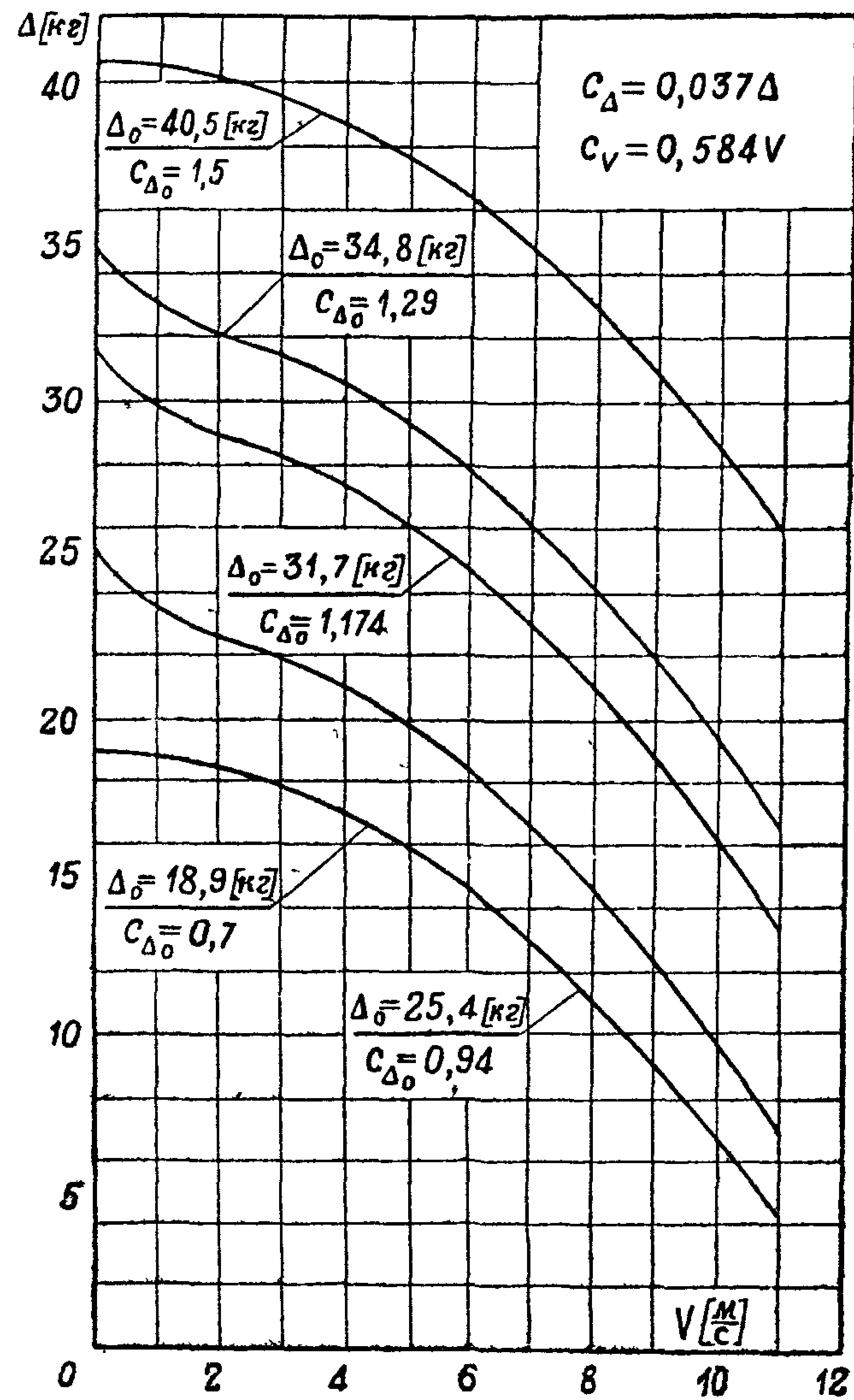


Фиг. 153. Теоретический чертеж модели № 5 (модели летающей лодки).

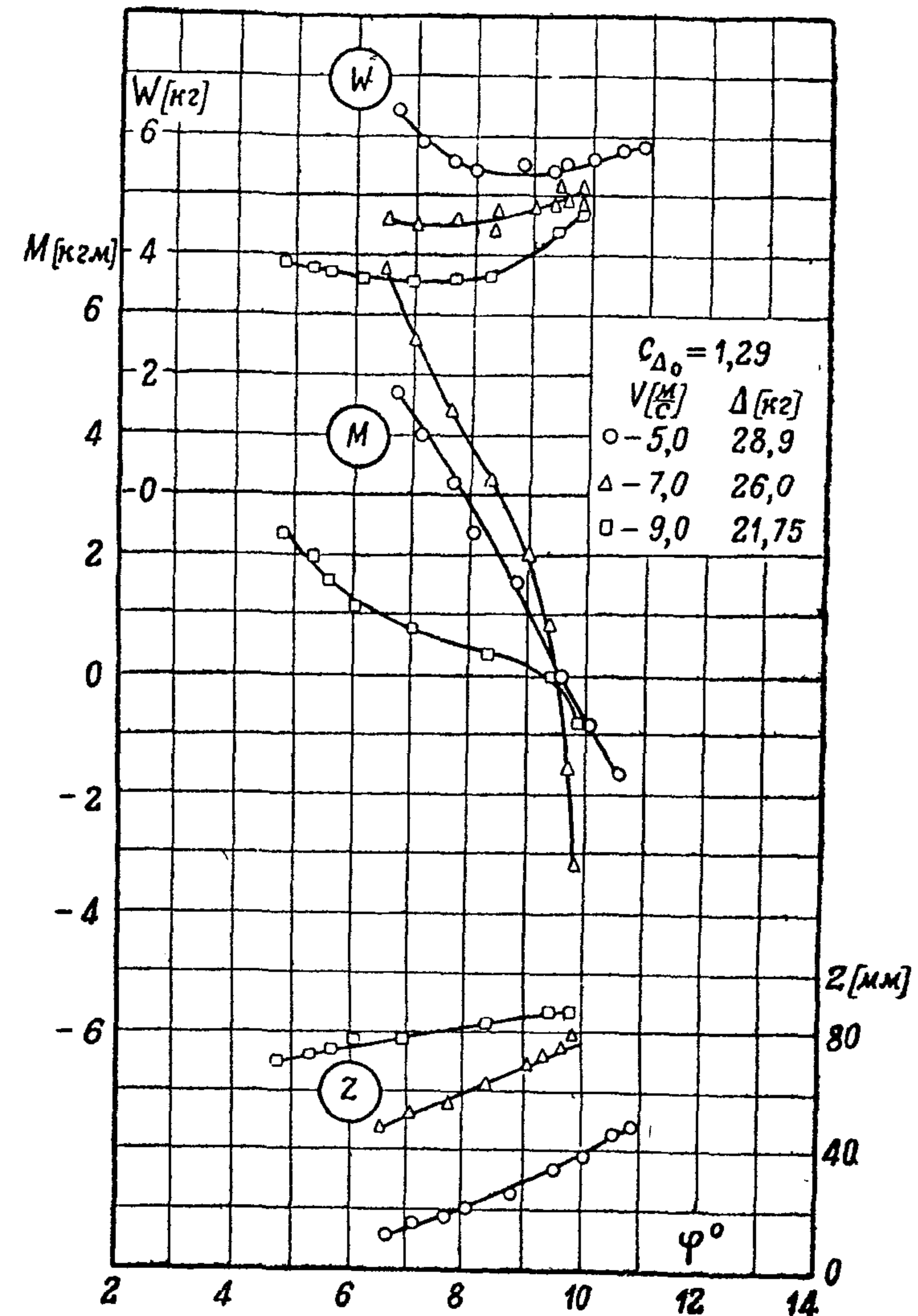
Таблица XX

Таблица плазовых координат модели № 5 (фиг. 153)

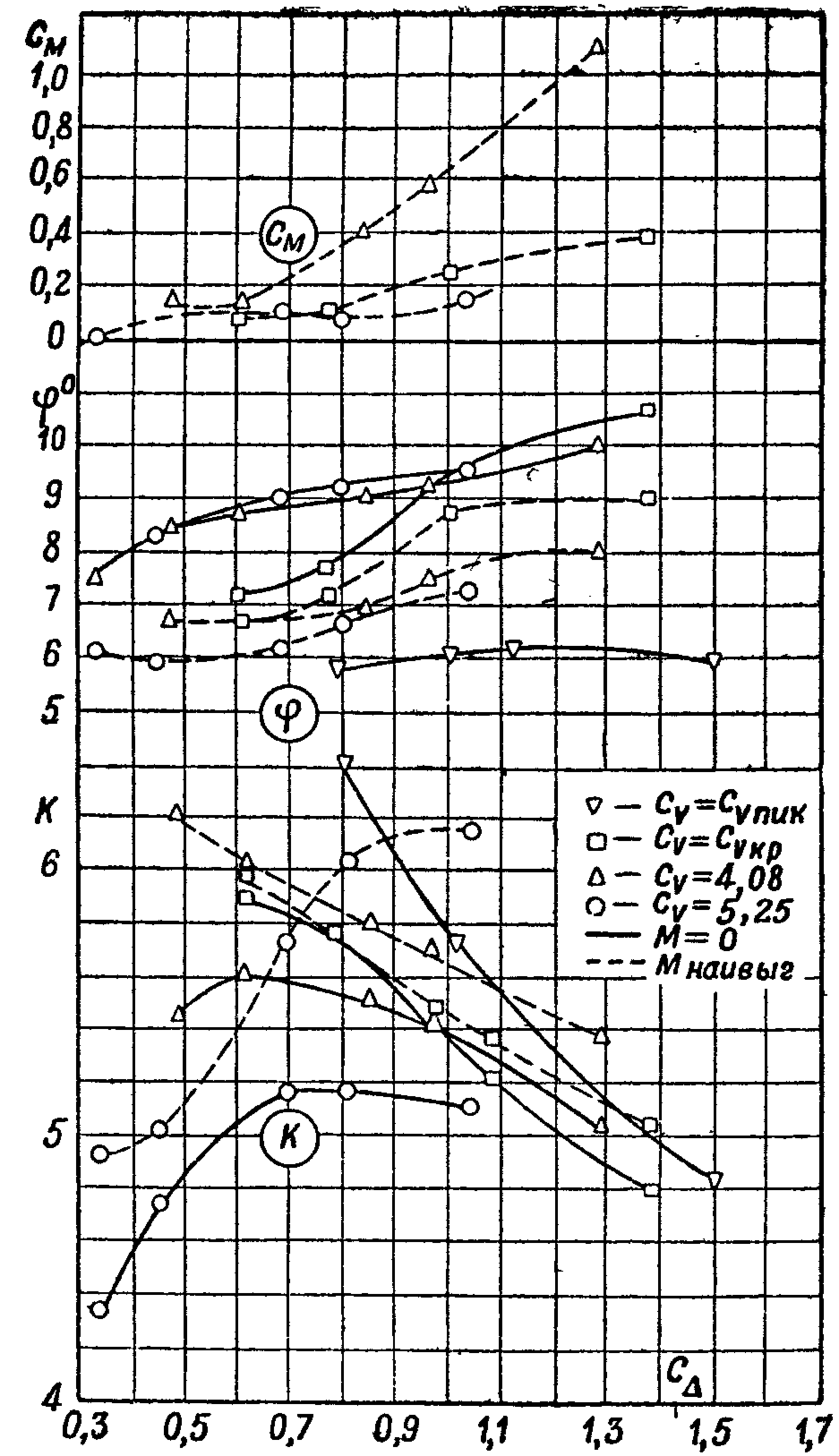
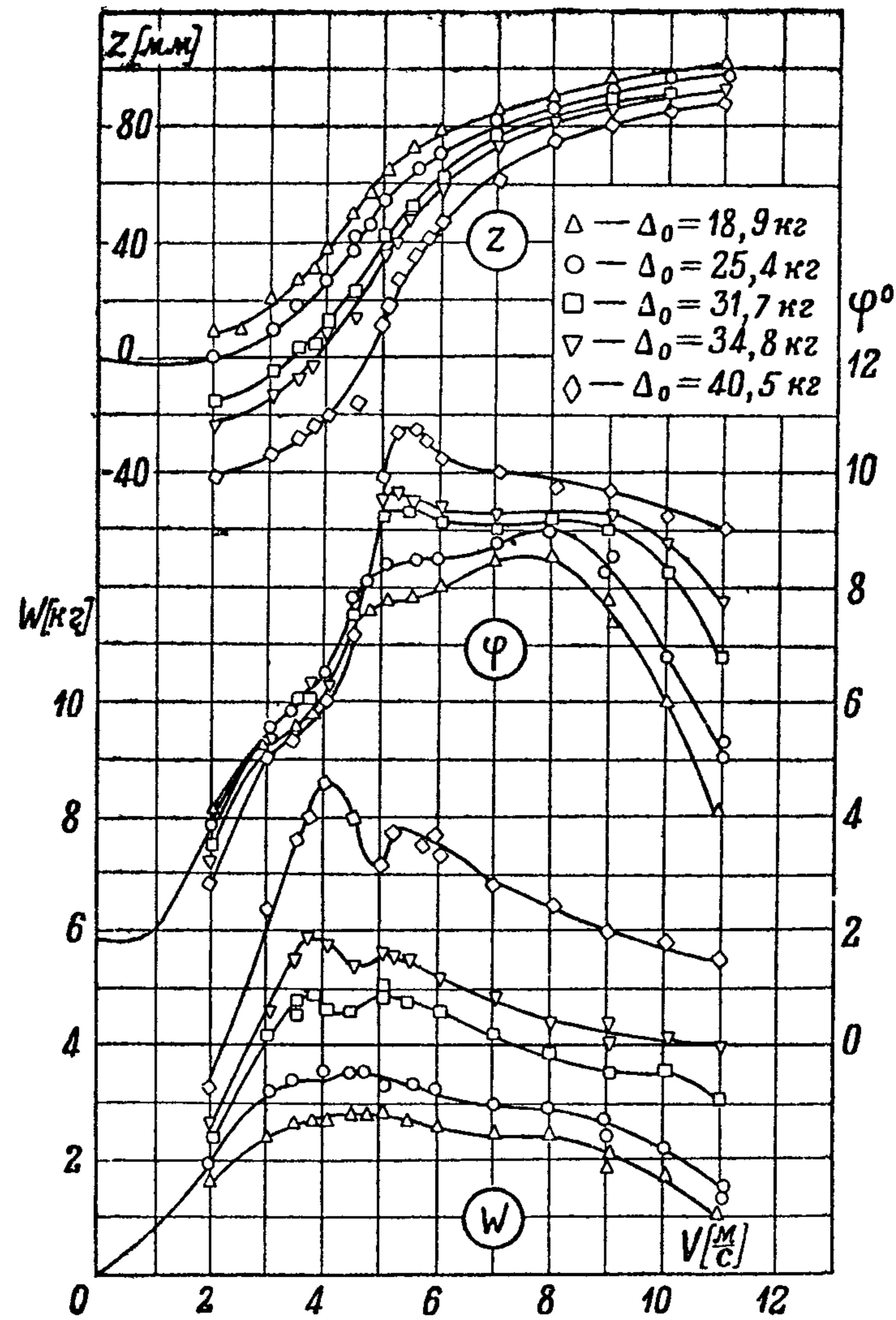
№ шпангоут	Δl	l	$\frac{1}{2}B$	$\frac{1}{2}B_1$	h	a	R	k_1	d_1	d_2	$\frac{1}{2}B_0$	H	a_1	β	β'	r	δ	WL					BT		P_1	P_2	P_3	№ шпангоут					
																		I-185,4	II-215,2	III-243	IV-230,3	V-303,6	I-50	II-100									
13	40,0	1053,8	—	—	265,4	—	—	—	—	—	—	265,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13
12	97,3	1013,8	58,0	—	79,0	185,0	185,0	—	—	—	—	316,4	247,0	71°0'	57°20'	—	156°	58,0	55,5	51,5	44,8	30,5	176,5	—	—	—	—	—	—	—	—	12	
11	83,3	916,5	119,4	—	16,6	135,8	116,2	—	—	—	66,5	327,6	188,3	55°15'	52°45'	—	140°15'	115,5	112,2	108,2	103,9	95,2	88,5	129,4	—	—	—	—	—	—	—	11	
10	83,3	833,2	139,4	—	0,5	99,0	64,2	—	—	—	94,3	332,1	131,8	43°0'	35°23'	—	132°	131,5	127,8	123,0	117,5	110,0	47,7	91,6	—	—	—	—	—	—	—	10	
9	83,3	749,9	146,0	—	-6,5	71,8	39,1	—	—	—	105,4	336,2	91,8	34°15'	26°11'	—	119°15'	135,0	131,2	127,2	122,5	117,2	27,3	60,9	—	—	—	—	—	—	—	9	
8	83,4	666,6	148,9	—	-9,3	56,0	26,5	—	—	—	112,8	338,5	72,5	28°48'	20°37'	—	113°48'	136,5	133,0	129,0	124,5	120,0	18,0	45,2	—	—	—	—	—	—	—	8	
7	83,3	583,2	149,8	—	-10,3	48,8	18,3	—	—	—	116,2	338,5	64,0	26°36'	21°45'	—	111°36'	137,5	134,1	130,0	125,8	121,8	14,5	39,2	—	—	—	—	—	—	—	7	
6	83,3	499,9	150	—	-9,8	47,0	13,4	—	—	—	116,5	338,5	61,0	25°06'	20°42'	—	110°36'	137,5	134,1	130,0	125,8	121,8	13,7	37,3	—	—	—	—	—	—	—	6	
5	83,8	416,6	150	—	-8,2	48,0	10,6	—	—	—	116,5	338,5	62,0	25°00'	20°30'	—	110°06'	135,5	132,0	127,8	124,2	119,8	15,3	38,8	—	—	—	—	—	—	—	5	
4	83,4	333,3	150	—	-6,4	49,7	10,0	—	—	—	116,5	338,5	63,7	25°00'	20°30'	—	110°00'	135,8	132,3	128,1	124,5	120,0	17,0	40,5	—	—	—	—	—	—	—	4	
3	83,3	249,9	150	—	-4,8	51,4	10,0	—	—	—	116,5	338,5	65,4	25°00'	20°30'	—	110°00'	136,0	132,5	128,4	124,6	120,3	18,7	42,2	—	—	—	—	—	—	—	3	
2	83,3	166,6	150	—	-3,2	53,0	10,0	—	—	—	116,5	338,5	67,0	25°00'	20°30'	—	110°00'	136,0	132,8	128,7	124,8	120,6	20,3	43,8	—	—	—	—	—	—	—	2	
1	83,3	83,3	150	—	-1,89	54,7	10,0	—	—	—	116,5	338,5	68,7	25°00'	20°30'	—	110°00'	136,6	133,0	128,9	125,0	120,9	22,0	45,5	—	—	—	—	—	—	—	1	
0 _H	0	0	150	—	0	53,0	лекало	—	—	—	116,5	338,5	70,0	25°00'	20°30'	—	110°00'	136,7	133,2	129,0	125,3	121,0	23,3	46,8	—	—	—	—	221,0	157,8	0 _H		
0 _K	166,7	0	148,0	—	13,0	69,7	—	—	—	—	116,5	338,5	81,15	21°08'	24°40'	—	—	136,7	133,2	129,0	125,3	121,0	35,7	58,7	—	—	—	221,0	157,8	0 _K			
1	166,6	166,7	140,3	—	43,3	107,6	—	—	—	—	111,1	338,5	—	24°30'	24°30'	—	—	124,7	121,6	117,4	113,7	110,0	66,8	89,7	114,9	213,0	152,1	—	—	—	1		
2	166,7	333,3	131,2	—	65,4	121,3	—	—	—	—	104,0	338,5	—	23°10'	23°10'	—	—	115,4	112,7	108,7	105,3	102,2	86,3	107,6	108,3	198,9	142,6	—	—	—	2		
3	50,0	500,0	115,8	115,8	84,4	117,2	—	135,8	115,8	180,5	94,8	338,5	—	15°49'	15°49'	32,8	—	111,6	110,0	106,0	102,7	99,3	94,5	106,5	99,8	180,0	132,0	—	—	—	3		
4	50,0	550,0	106,6	112,8	91,6	115,2	—	189,1	111,4	176,0	91,8	338,5	—	12°30'	12°30'	28,0	—	105,8	107,2	103,0	100,0	96,2	96,8	104,9	97,0	168,2	126,7	—	—	—	4		
5	57,3	600,0	96,0	103,8	97,5	118,3	—	190,6	108,5	171,7	88,8	333,5	—	10°00'	10°00'	23,8	—	105,8	107,2	103,0	100,0	96,2	99,3	177,3	94,3	162,5	122,2	—	—	—	5		
6	66,2	657,3	82,0	105,1	103,0	117,3	—	191,2	104,8	167,6	85,0	333,5	—	6°20'	6°20'	19,0	—	100,2	103,5	99,6	96,5	93,0	103,1	186,0	91,6	157,0	117,0	—	—	—	6		
7	40,0	723,3	55,5	101,0	110,8	117,8	—	192,0	98,6	161,0	80,8	333,5	—	2°10'	2°10'	11,0	—	90,8	93,0	95,4	92,6	88,6	110,0	—	87,2	148,3	109,0	—	—	—	7		
8	40,0	763,5	34,4	97,1	116,0	116,0	—	192,4	94,8	153,6	78,0	333,5	—	0°00'	0°00'	5,8	—	82,6	94,4	92,6	90,0	85,8	165,7	—	84,1	142,8	103,9	—	—	—	8		
9	0	803,5	0	94,0	121,8	121,8	—	193,4	90,8	121,7	75,4	333,5	—	—	—	0	—	73,5	89,8	89,8	87,2	83,8	174,2	—	81,8	135,8	99,0	—	—	—	9		
9'	166,7	803,5	—	94,0	152,4	152,4	—	—	90,8	—	75,4	333,5	—	—	—	—	—	73,5	89,8	89,8	87,2	83,8	174,2	—	81,8	136,8	99,0	—	—	—	9'		
10	157,3	970,2	—	—	189,6	—	—	—	75,1	—	63,4	333,5	—	—	—	—	—	—	64,0	75,0	74,3	70,2	204,8	—	69,5	104	71,2	—	—	—	10		
11	118,5	1127,5	—	—	189,6	—	—	—	53,4	—	49,2	333,5	—	—	—	—	—	—	—	49,0	58,0	56,0	249,9	—	55,3	77,2	33,0	—	—	—	11		
12	111,2	1246,0	—	—	224,6	—	—	—	45,2	—	37,0	333,5	—	—	—	—	—	—	—	15,0	42,2	44,5	—	—	43,9	53,3	—	—	—	—	12		
13	150,0	1357,2	—	—	250,8	—	—	—	30,6	—	24,8	333,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	31,3	32,0	—	—	—	—	13		
14	—	1507,2	—	—	275,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	



Фиг. 154



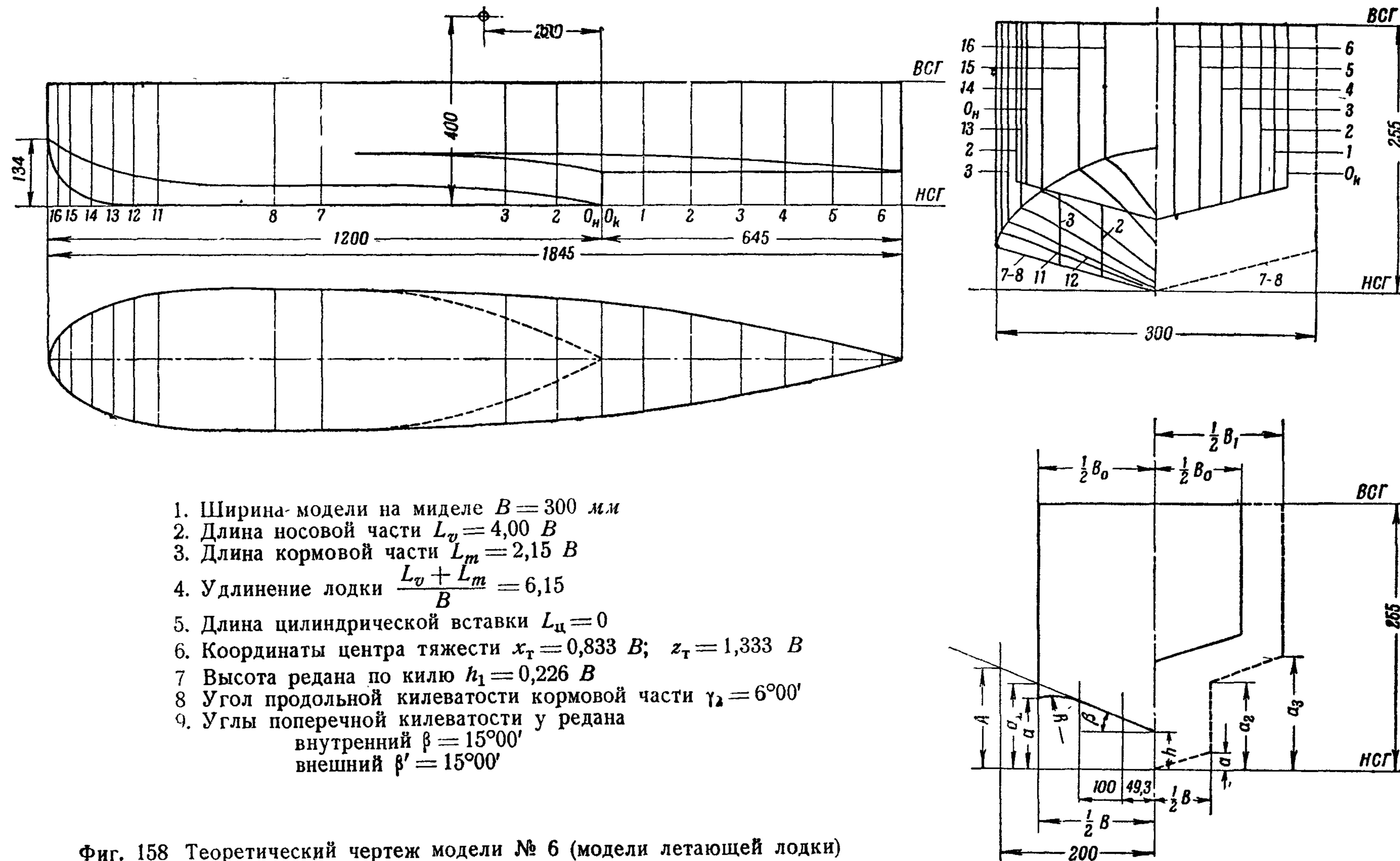
Фиг. 156



Фиг. 155

Фиг. 157

Фиг. 155—157. Графики результатов испытаний модели № 5 (фиг. 153)

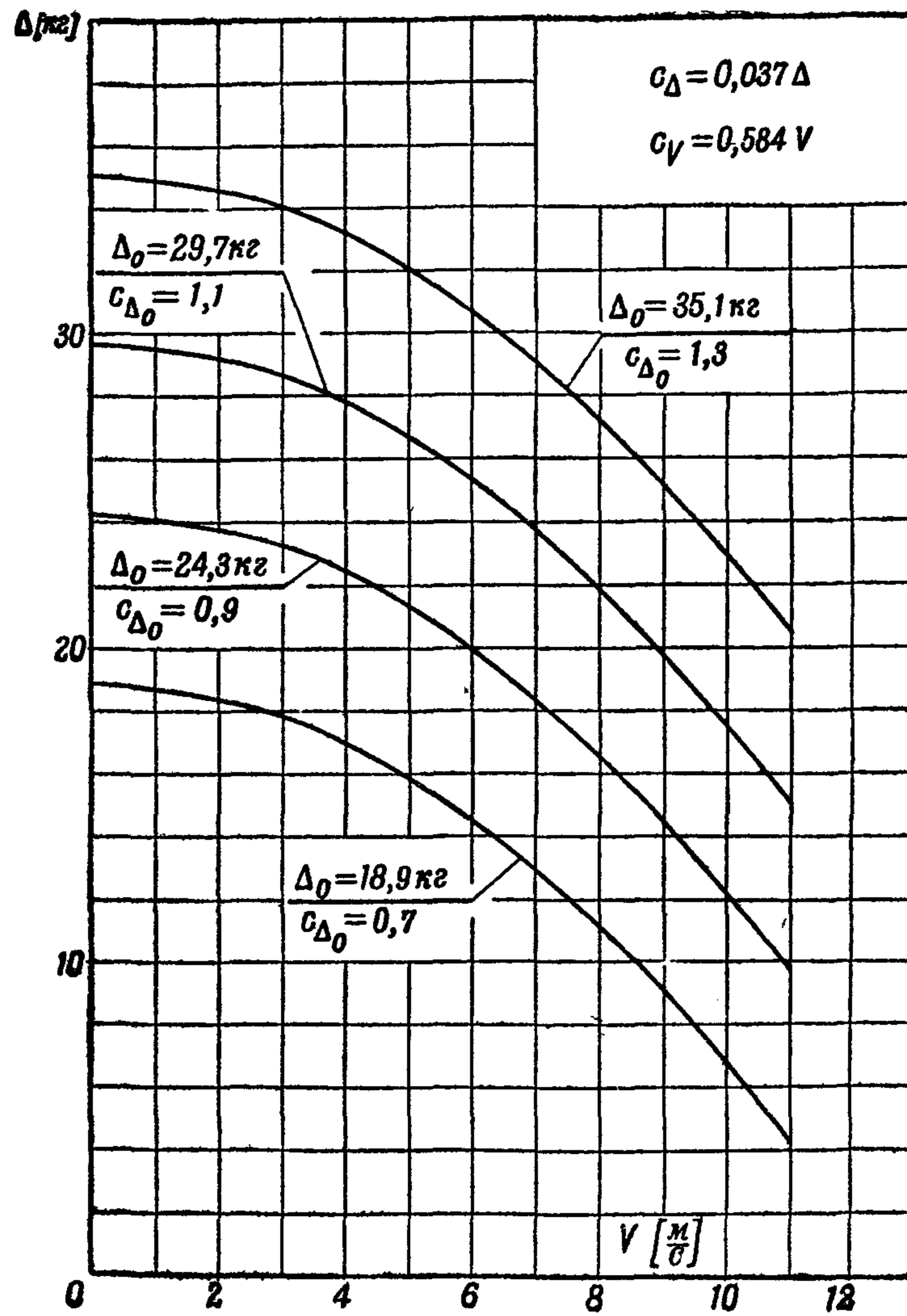


Фиг. 158 Теоретический чертеж модели № 6 (модели летающей лодки)

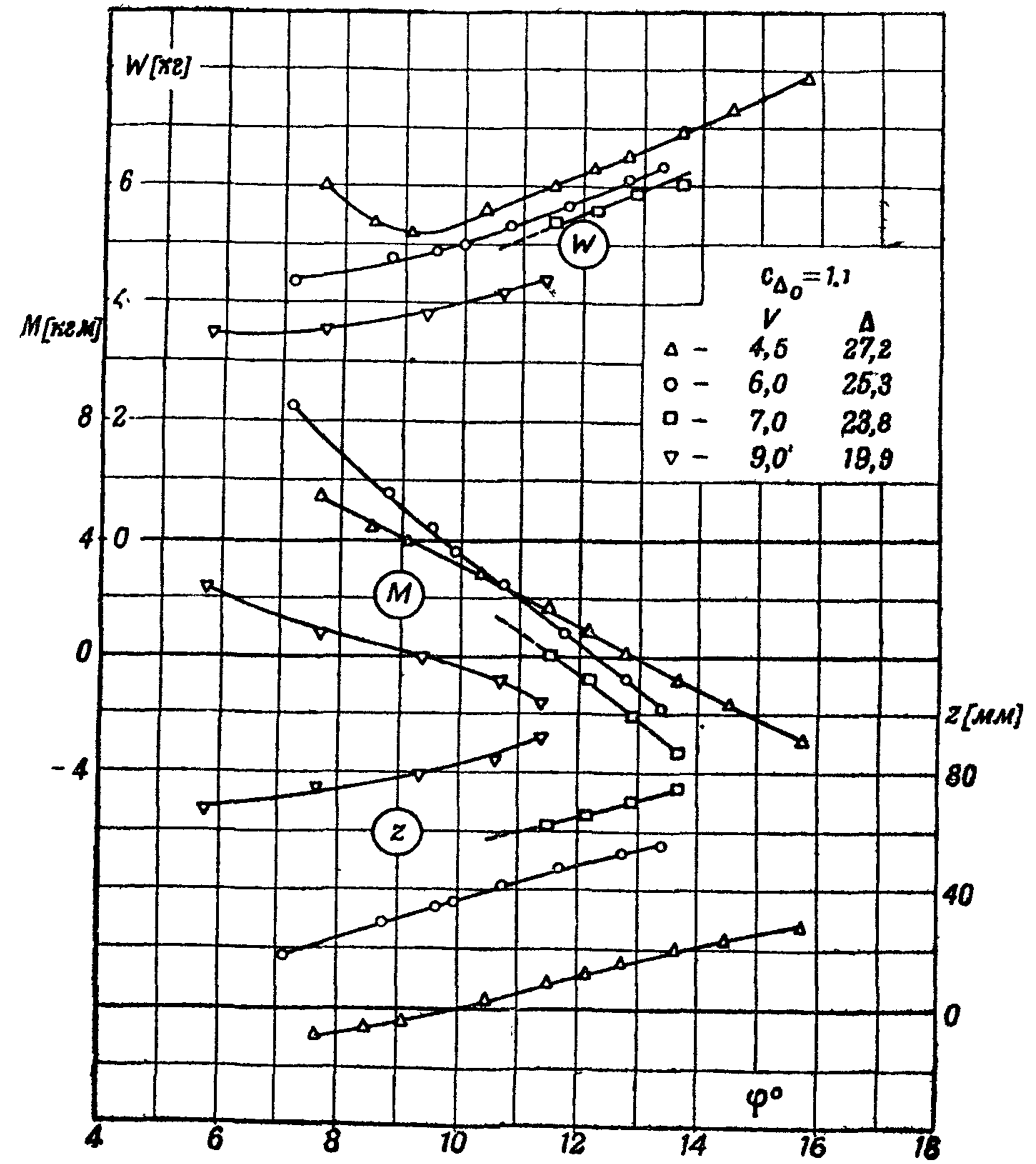
Таблица плазовых координат модели № 6 (фиг 158)

Таблица XXII

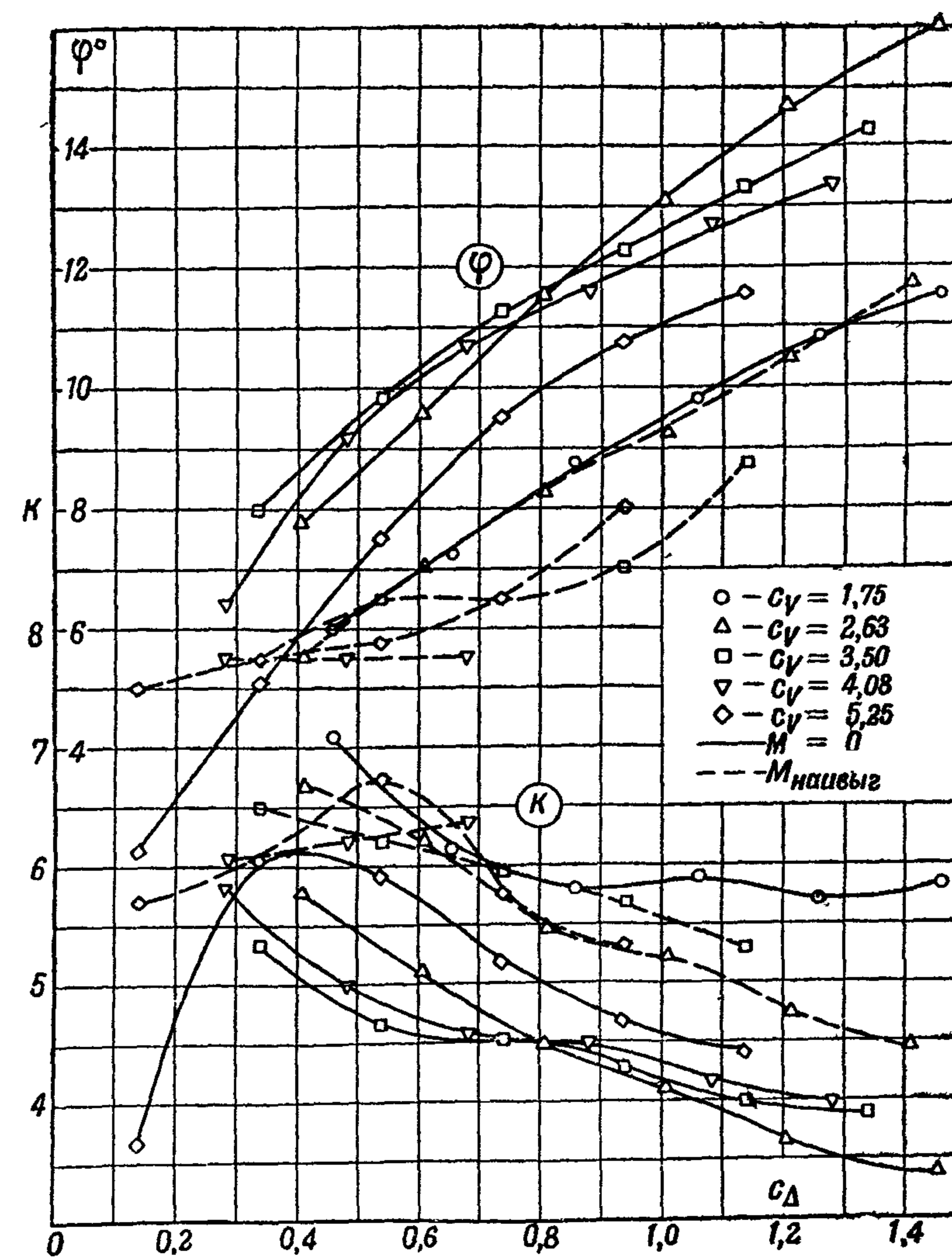
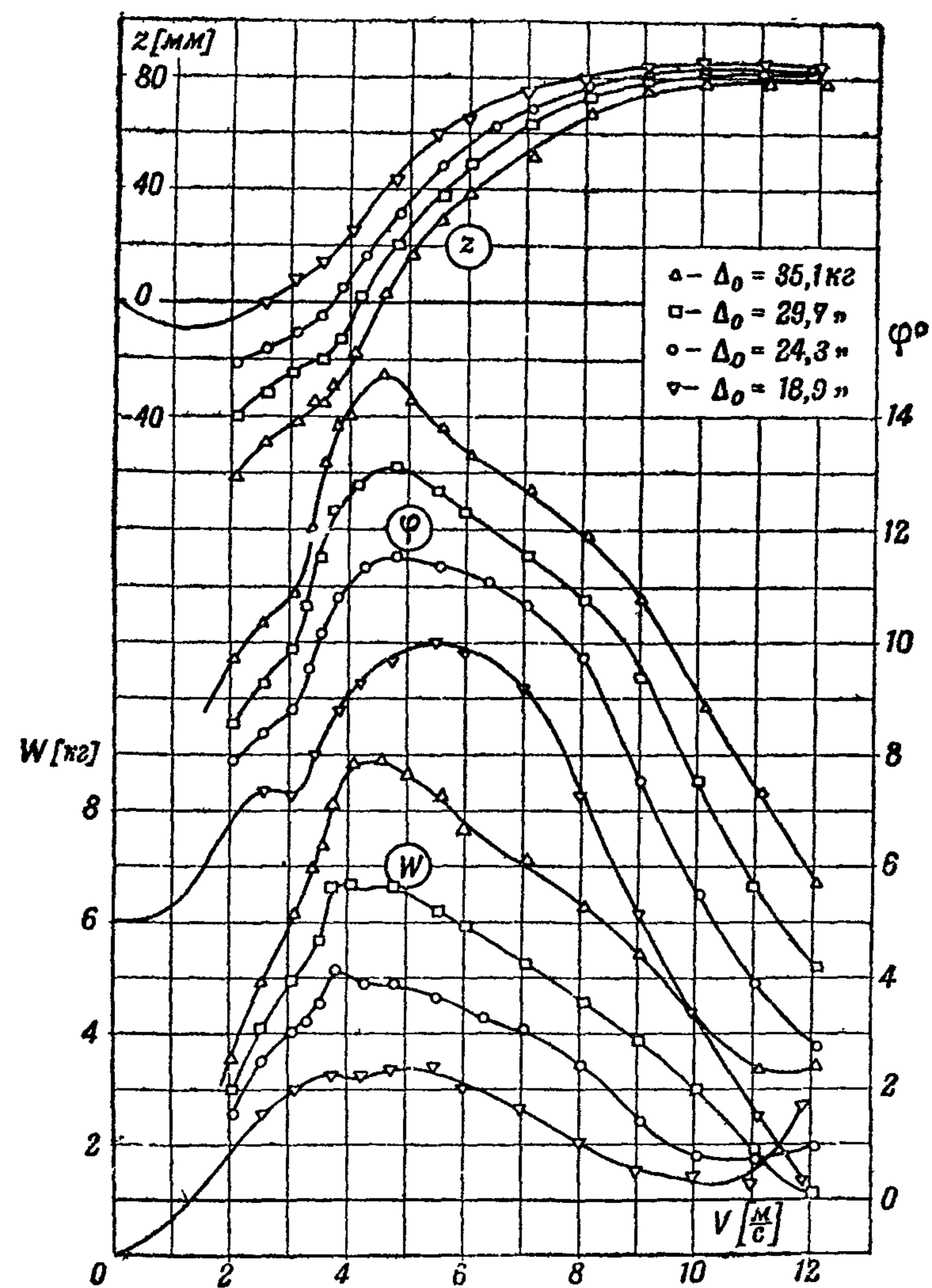
№ шп	Δl	l	$\frac{1}{2}B$	$\frac{1}{2}B_1$	h	A	a	R	a_2	a_3	$\frac{1}{2}B_0$	a_1	β	β	WL			BT		№ шп	
															I-70	II-90	III-120	I-439	II-100		
17		1 200 0	—	—	134 0	—	134 0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17
16	25 0	1 175 0	49 3	—	70 0	357 8	125 9	135 0	—	—	49 3	140 9	47 43	—	—	—	13 5	41 0	—	—	16
15	25 0	1 150 0	74 2	—	45 3	264 6	115,9	135 0	—	—	74 2	126 9	37 25	—	—	22 4	40 4	74 2	99 5	—	15
14	50 0	1 100 0	107 7	—	19 5	172 9	94 6	135 0	—	—	107 7	101 9	30 32	—	—	66 9	96 5	—	57 3	91 1	14
13	50 0	1 050 0	127 8	—	7 3	126 0	77 5	135 0	—	—	127 8	82 7	25 02	—	—	107 2	—	—	36 4	60 2	13
12	50 0	1 000 0	139 4	—	1 9	96 5	64 3	135 0	—	—	139 4	67 0	20 52	—	—	—	—	—	24 9	48 5	12
11	50 0	950 0	145 8	—	0 2	77 3	55 0	135 0	—	—	145 8	55 8	18 02	—	—	—	—	—	19 0	38 4	11
10	50 0	900 0	148 8	—	0	65 5	48 5	—	—	—	148 8	48 5	15 32	—	—	—	—	—	16 1	32 5	10
9	100 0	800 0	150 0	—	0	55 2	41 7	—	—	—	150 0	41 7	15 00	—	—	—	—	—	13 7	28 0	9
8	100 0	700 0	150 0	—	0	53 7	40 2	—	—	—	150 0	40 2	15 00	—	—	—	—	—	13 2	26 9	8
7	100 0	600 0	150 0	—	0	—	40 2	—	—	—	150 0	40 2	15 00	—	—	—	—	—	—	26 9	7
6	100 0	500 0	149 0	149 3	0	—	39 9	—	107 7	107 8	149 3	—	15 00	15 00	—	—	—	—	—	26 9	6
5	100 0	400 0	139 6	147 8	0	—	37 4	—	105 2	107 4	147 8	—	15 00	15 00	—	—	—	—	—	26 9	5
4	100 0	300 0	120 3	144 8	0	—	32 2	—	100 0	106 6	144 8	—	15 00	15 00	—	—	—	—	—	26 5	4
3	100 0	200 0	90 7	139 8	0	—	24 3	—	92 1	105 3	139 8	—	15 00	15 00	—	—	—	—	—	94 5	3
2	100 0	100 0	51 5	132 3	0	—	13 8	—	81 6	103 2	132 3	—	15 00	15 00	—	—	—	—	—	94 5	2
1	95 0	50	5 5	122 8	0	—	1 5	—	69 3	100 8	122 8	—	15 00	15 00	—	—	—	—	—	94 5	1
0 _H	50	0	0	122 2	0	—	0	—	67 8	100 5	122 2	—	15 00	15 00	—	—	—	—	—	94 5	0 _H
0 _K	0	0	0	122 2	67 8	—	—	—	—	100 5	122 2	—	15 00	15 00	—	—	—	—	—	94 5	0 _K
1	100 0	100 0	—	109 4	67 8	—	—	—	—	97 1	109 4	—	15 00	15 00	—	—	—	—	—	94 5	1
2	100 0	200 0	—	94 8	67 8	—	—	—	—	93 2	94 8	—	15 00	15 00	—	—	—	—	—	—	2
3	100 0	300 0	—	78 5	67 8	—	—	—	—	88 8	78 5	—	15 00	15 00	—	—	—	—	—	—	3
4	100 0	400 0	—	59 6	67 8	—	—	—	—	83 7	59 6	—	15 00	15 00	—	—	—	—	—	—	4
5	100 0	500 0	—	38 6	67 8	—	—	—	—	78 1	38 6	—	15 00	15 00	—	—	—	—	—	—	5
6	100 0	600 0	—	15 2	67 8	—	—	—	—	71 8	15 1	—	15°00	15°00	—	—	—	—	—	—	6
7	45 0	645 0	—	—	67 8	—	—	—	—	67 8	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7



Фиг. 159



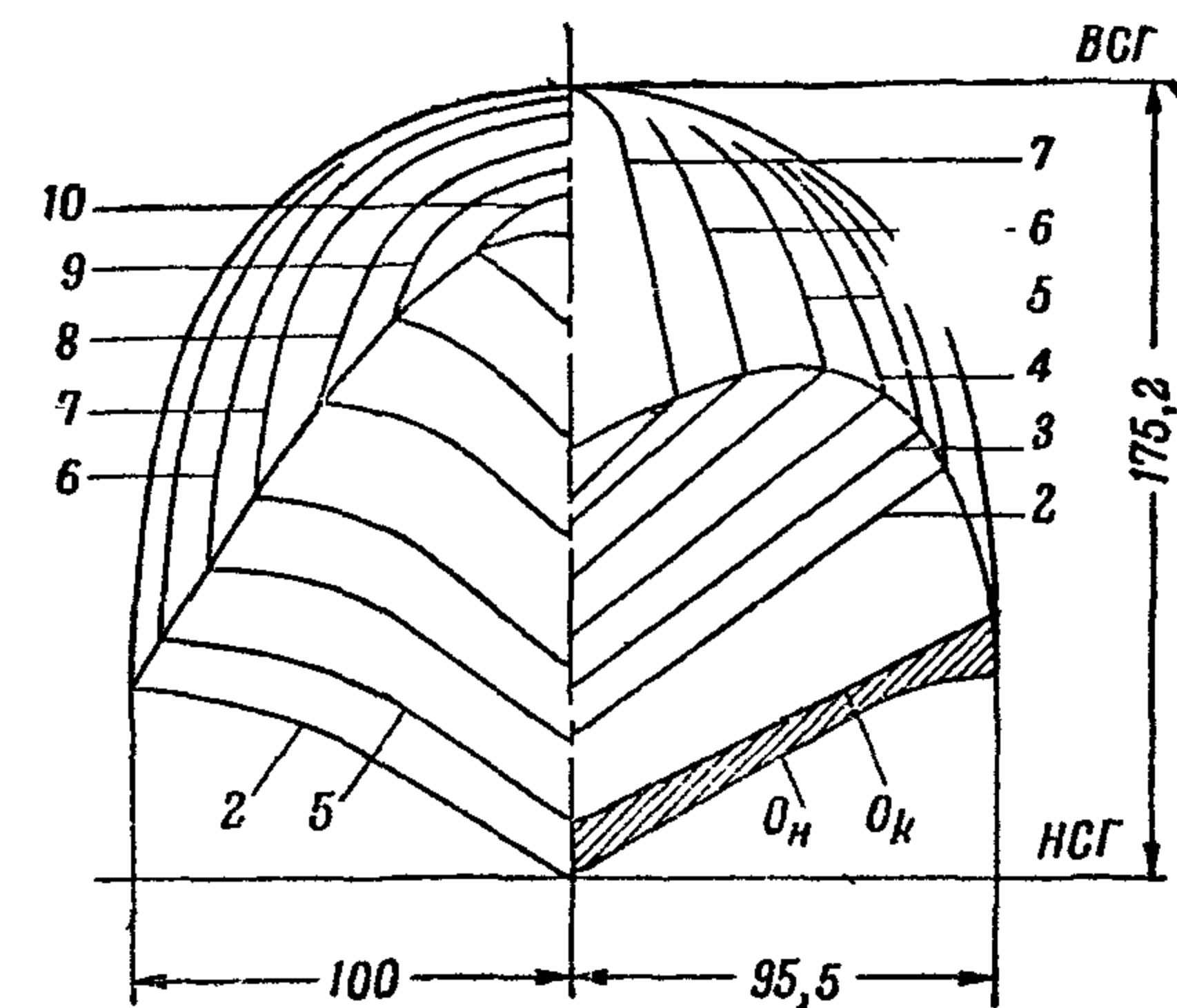
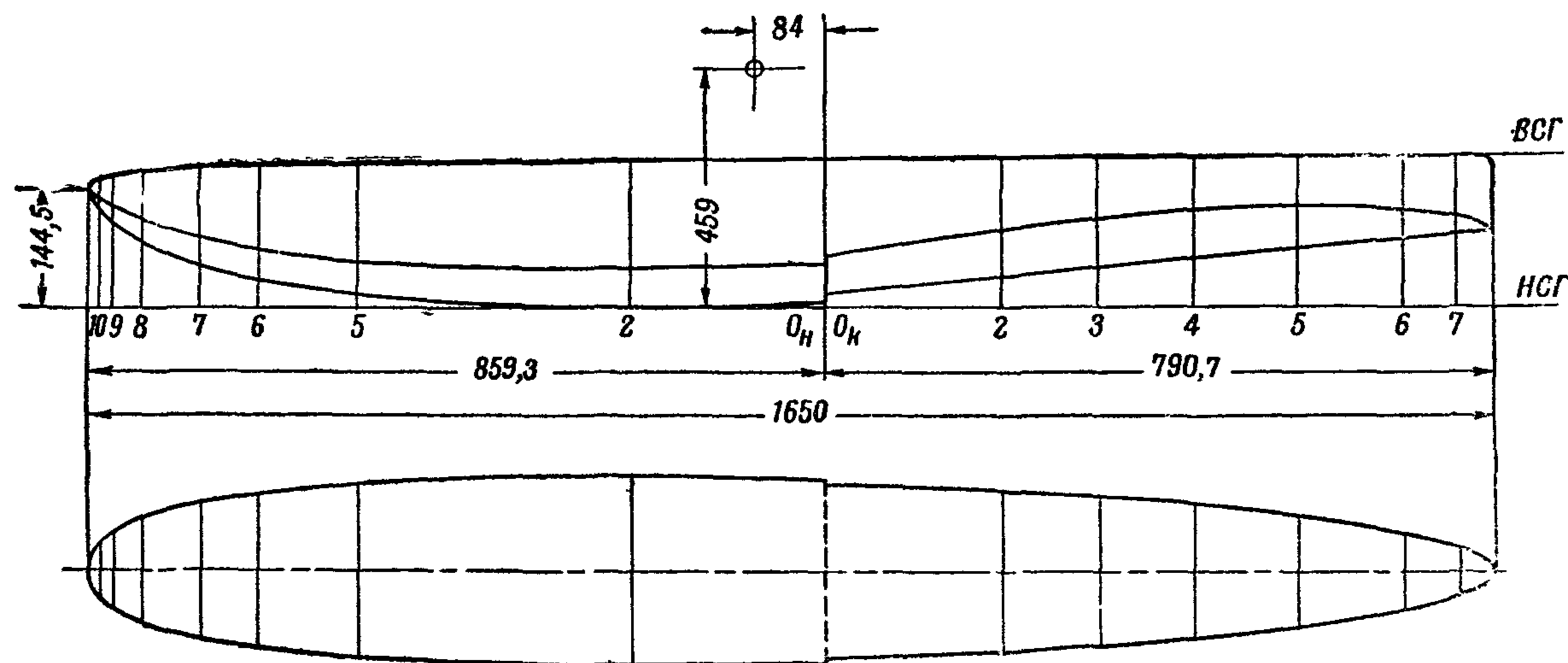
Фиг. 161



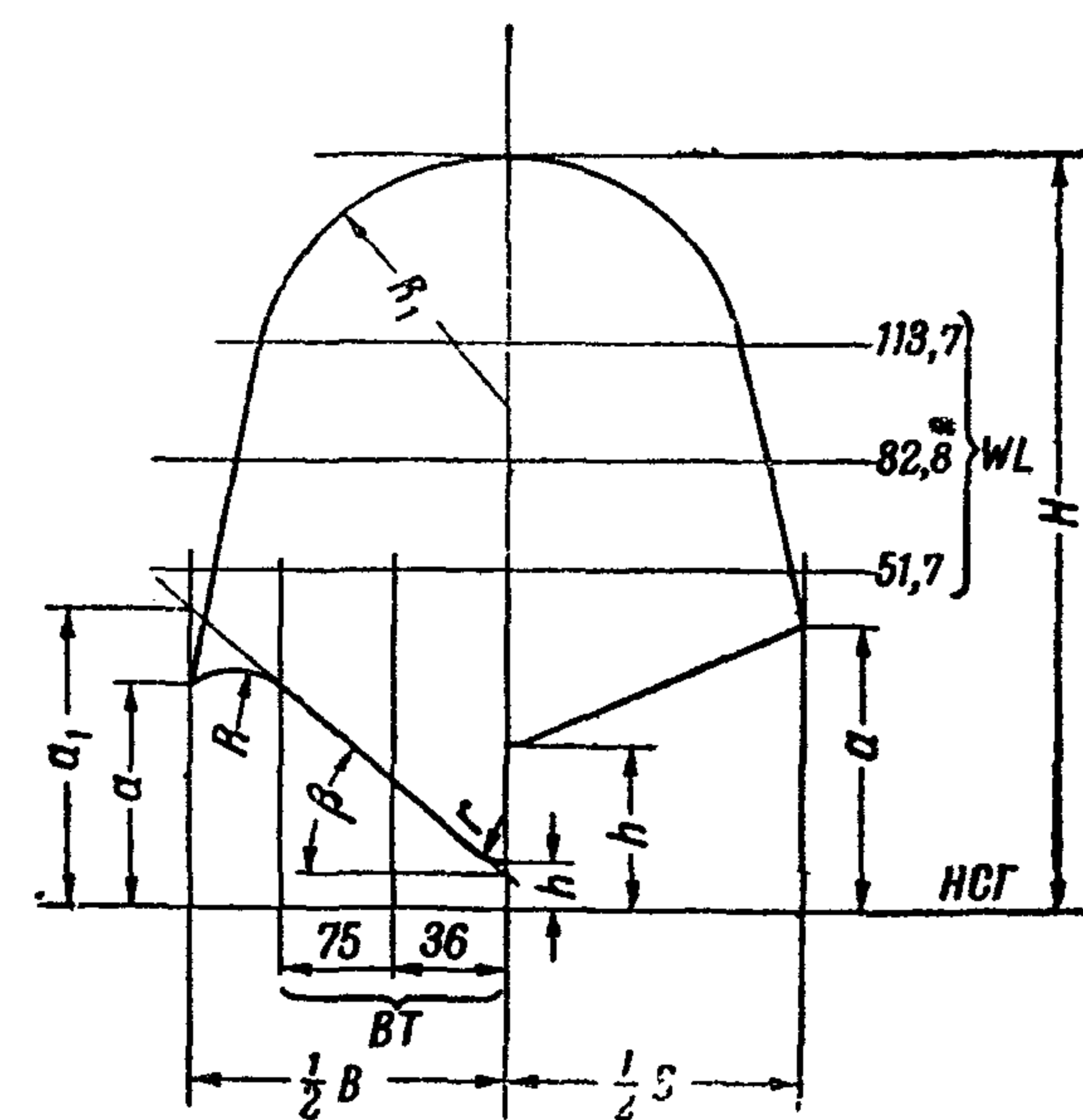
Фиг. 160

Фиг. 162

Фиг 160—162. Графики результатов испытаний модели № 6 (фиг. 158)



1. Ширина модели на миделе $B = 200$ мм
2. Длина носовой части $L_v = 4,28 B$
3. Длина кормовой части $L_m = 3,97 B$
4. Удлинение поплавка $\frac{L_v + L_m}{B} = 8,25$
5. Длина цилиндрической вставки $L_{ц} = 0$
6. Координаты центра тяжести $x_T = 0,42 B$; $z_T = 2,295 B$
7. Высота редана по килю $h_1 = 0,0505 B$
по скуле $h'_1 = 0,057 B$
8. Угол продольной килеватости $\gamma_2 = 6^\circ 25'$
9. Углы поперечной килеватости на редане
внутренний $\beta = 30^\circ 12'$
внешний $\beta_1 = 25^\circ 12'$
10. Полное водоизмещение поплавка $D = 26,80$ кг

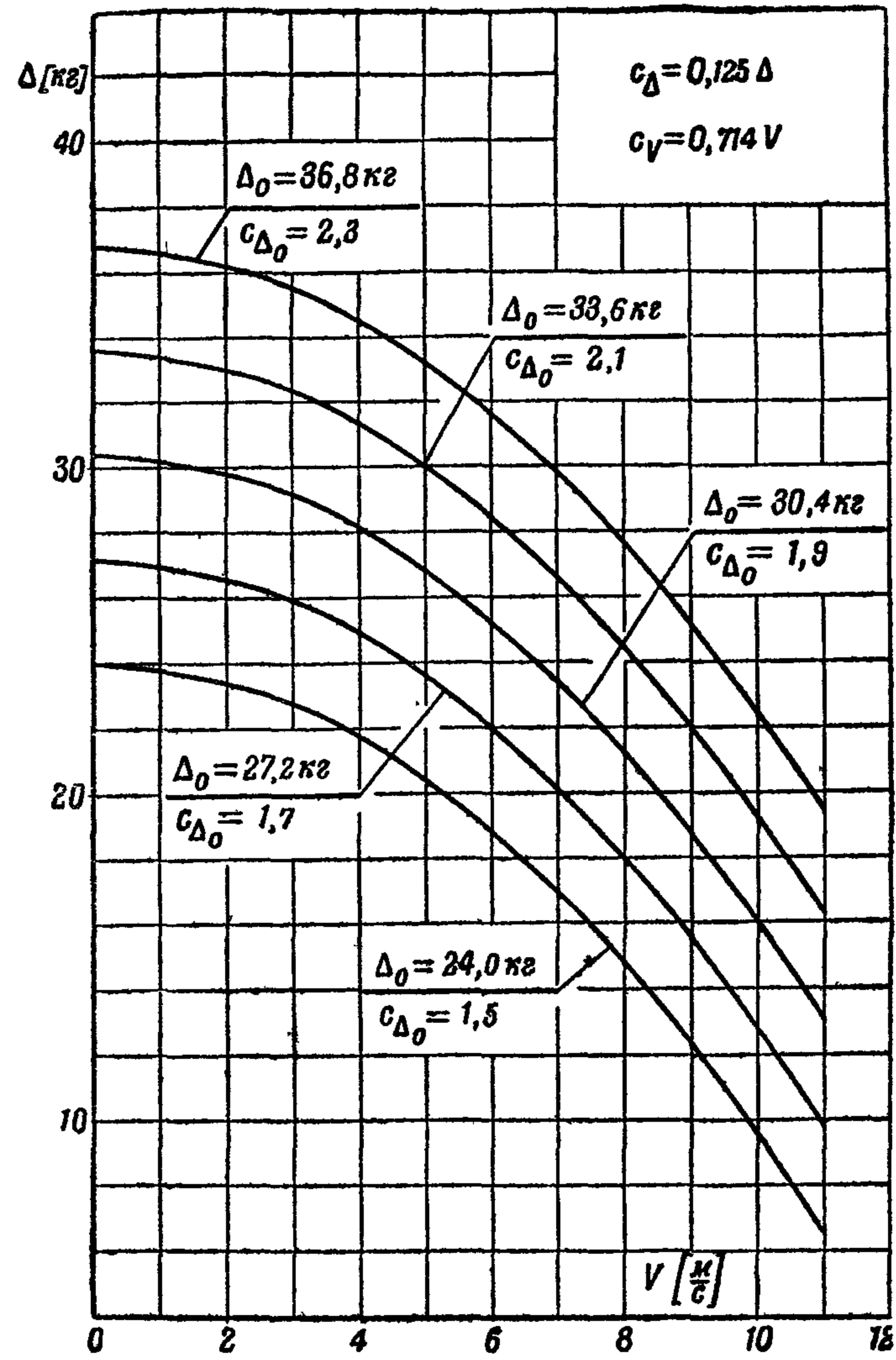


Фиг. 163. Теоретический чертеж модели № 7 (модели двухпоплавкового гидросамолета)

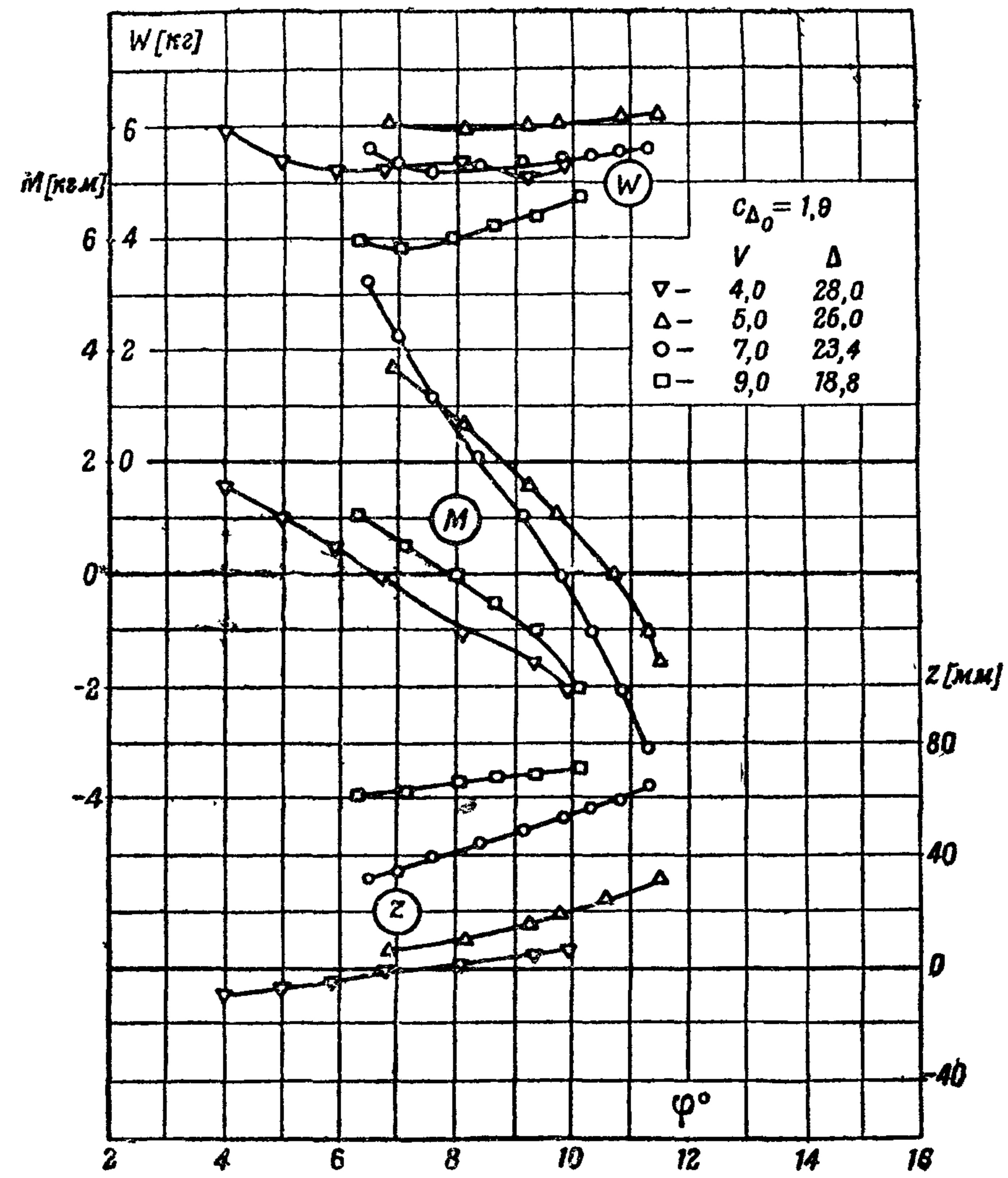
Таблица плазовых координат модели № 7 (фиг 163)

Таблица XXIII

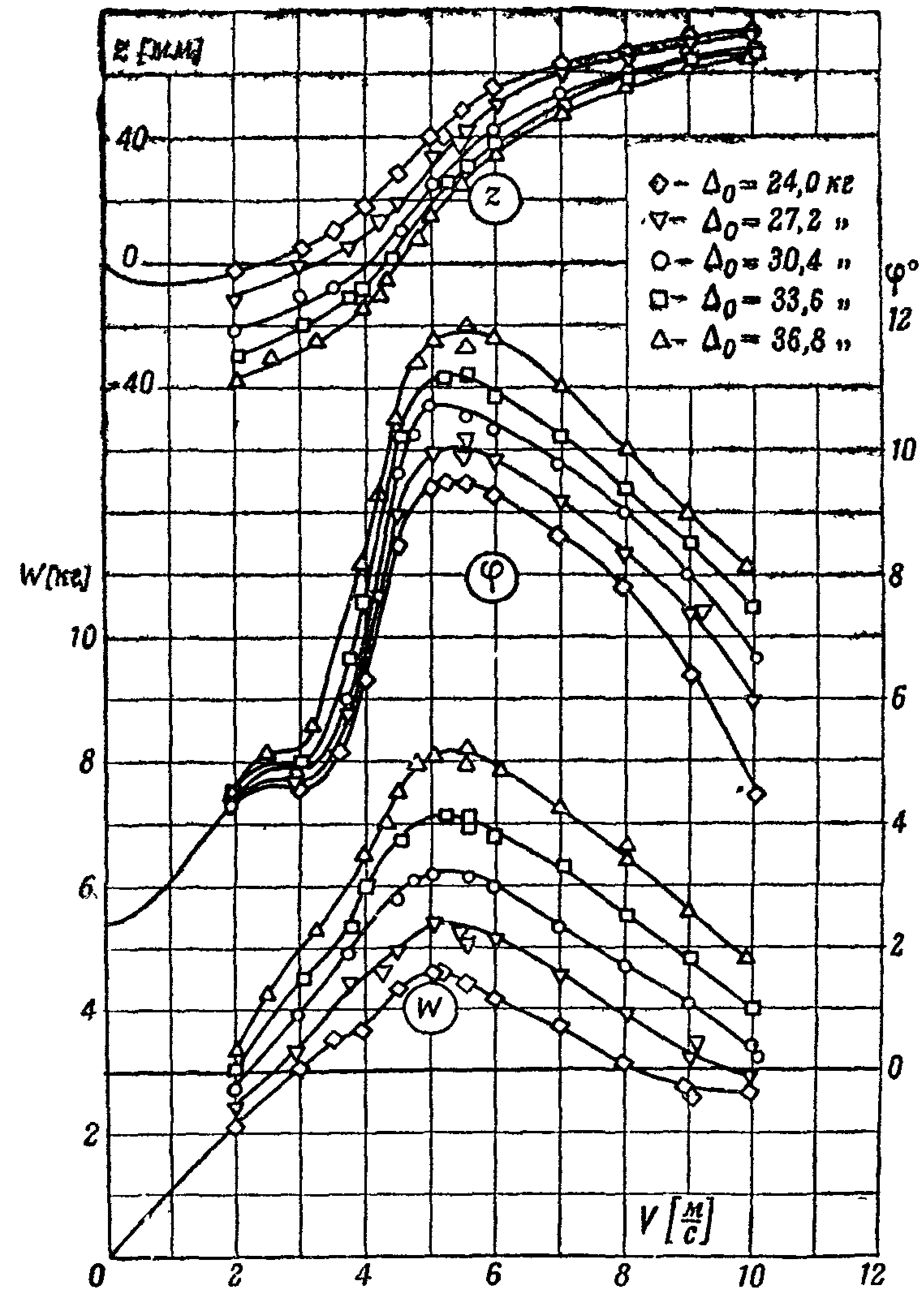
№ шп.	Δl	l	$\frac{1}{2} B$	h	r	a	R	R_1	H	a_1	β	WL			BT		№ шп.
												I—51,7	II—82,8	III—113,7	I—36	II—75	
11		859,3	—	144,5	—	144,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11
10	7,8	851,5	21,8	124,5	2,3	139,9	27,5	—	151,6	142,1	—	—	—	—	—	—	10
9	19,2	832,3	40,9	98,1	2,3	123,1	45,4	—	157,1	134,4	—	—	—	—	—	—	9
8	31,0	801,3	56,1	75,3	2,3	105,9	58,4	51,9	162,9	124,8	41°43'	—	9,4	53,7	101,5	—	8
7	63,0	738,3	72,4	46,8	2,3	82,7	75,0	67,5	170,2	107,0	40°05'	6,8	72,5	66,8	74,1	—	7
6	63,0	675,3	82,7	30,0	2,3	68,1	87,6	76,5	173,4	94,0	38°05'	28,6	80,1	74,5	56,4	68,1	6
5	118,8	556,5	94,7	12,8	2,3	52,1	103,6	87,0	175,2	83,7	34°34'	94,5	89,0	83,5	37,0	51,1	5
4	111,8	444,7	98,5	5,2	2,3	45,1	110,0	92,8	175,2	66,9	32°18'	97,8	93,4	87,5	27,1	42,2	4
3	111,9	332,8	99,9	1,7	2,3	42,6	111,8	95,1	175,2	61,1	30°55'	98,9	95,5	89,1	22,8	39,8	3
2	111,8	221,0	100,0	0	2,3	41,7	113,8	95,4	175,2	47,9	30°19'	98,7	95,5	89,1	20,6	38,4	2
1	111,9	109,1	98,0	0,8	2,3	43,5	116,1	94,7	175,2	56,1	29°36'	97,4	94,9	88,8	20,9	40,6	1
0 _H	109,1	0	95,5	1,9	2,3	47,1	119,9	92,0	175,2	57,1	30°12'	95,1	92,5	87,0	22,4	42,3	0 _H
0 _K	0	0	94,6	12,0	2,3	58,5	—	92,0	175,2	—	26°29'	80,5	92,5	87,0	29,4	48,9	0 _K
1	103,4	103,4	90,8	22,0	2,3	77,1	—	88,4	175,2	—	31°26'	49,2	90,0	84,5	43,5	67,5	1
2	107,7	211,1	85,7	32,5	2,3	89,6	—	83,5	175,2	—	33°52'	29,2	75,1	80,8	56,1	82,6	2
3	111,9	323,0	79,4	43,4	2,3	99,6	—	77,1	175,2	—	35°29'	12,4	55,6	75,8	68,3	96,0	3
4	111,8	434,8	71,0	53,8	2,3	107,0	—	67,4	175,2	—	36°55'	—	38,7	69,0	80,6	—	4
5	125,9	560,7	59,4	66,6	2,3	112,0	—	52,2	175,2	—	38°31'	—	21,8	53,3	94,5	—	5
6	125,9	686,6	40,4	78,8	2,3	111,1	—	29,1	175,2	—	39°41'	—	5,6	39,8	108,0	—	6
7	63,0	749,6	24,4	84,9	2,3	106,5	—	24,4	175,2	—	42°50'	—	—	22,9	—	—	7
8	41,1	790,7	—	89,0	—	—	—	—	175,2 ¹	—	—	—	—	—	—	—	8



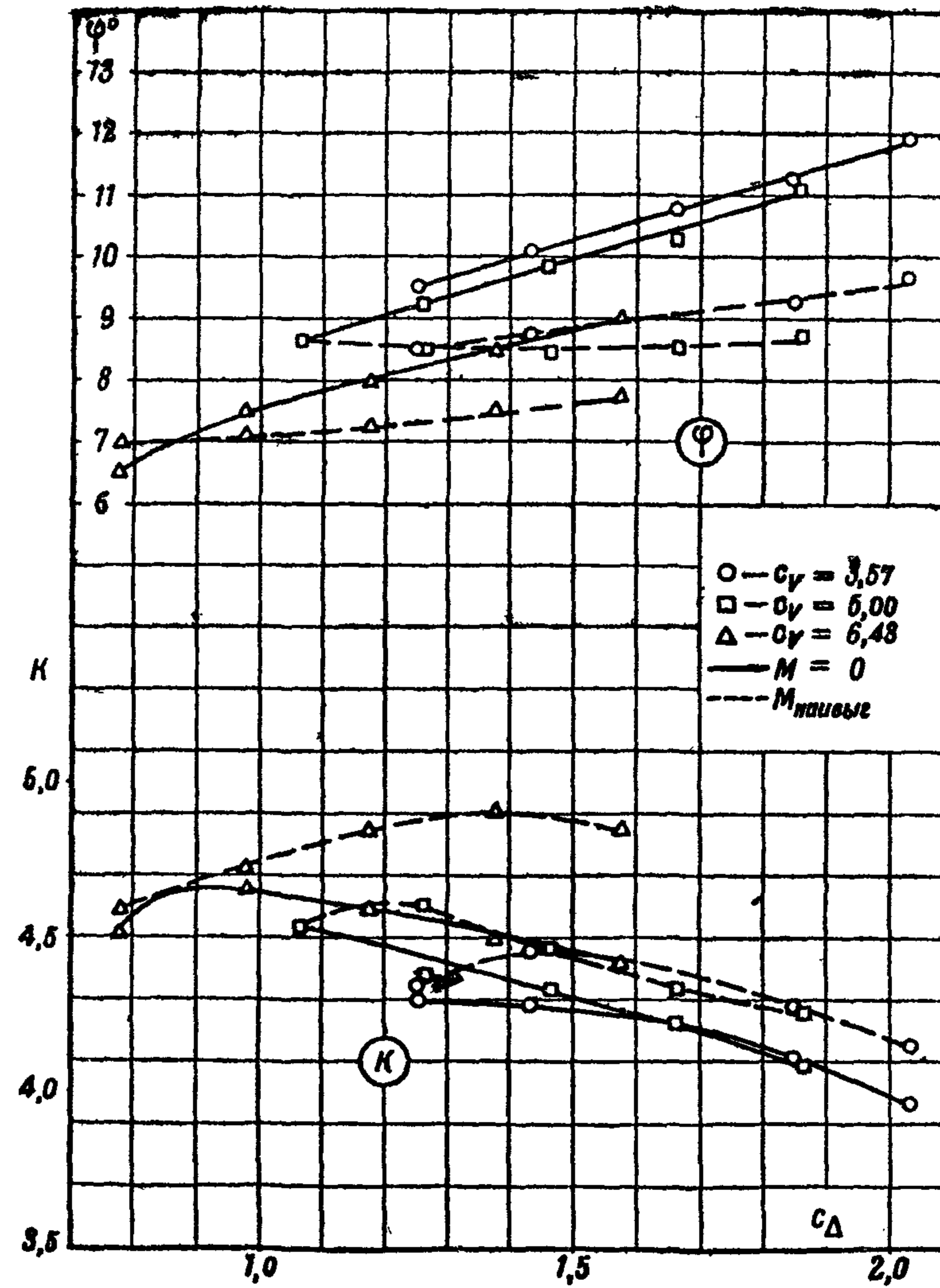
Фиг. 164



Фиг. 166

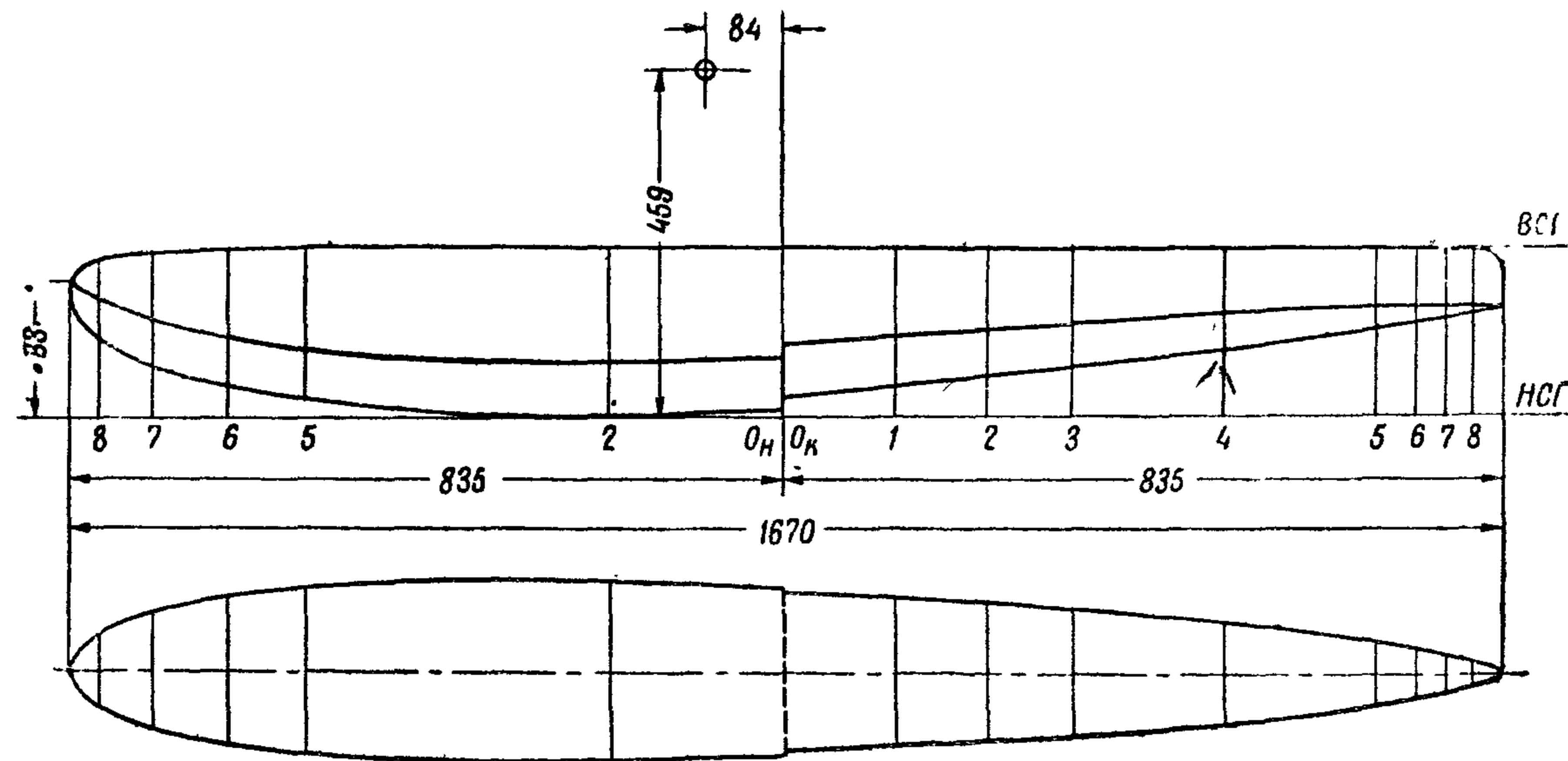


Фиг 165

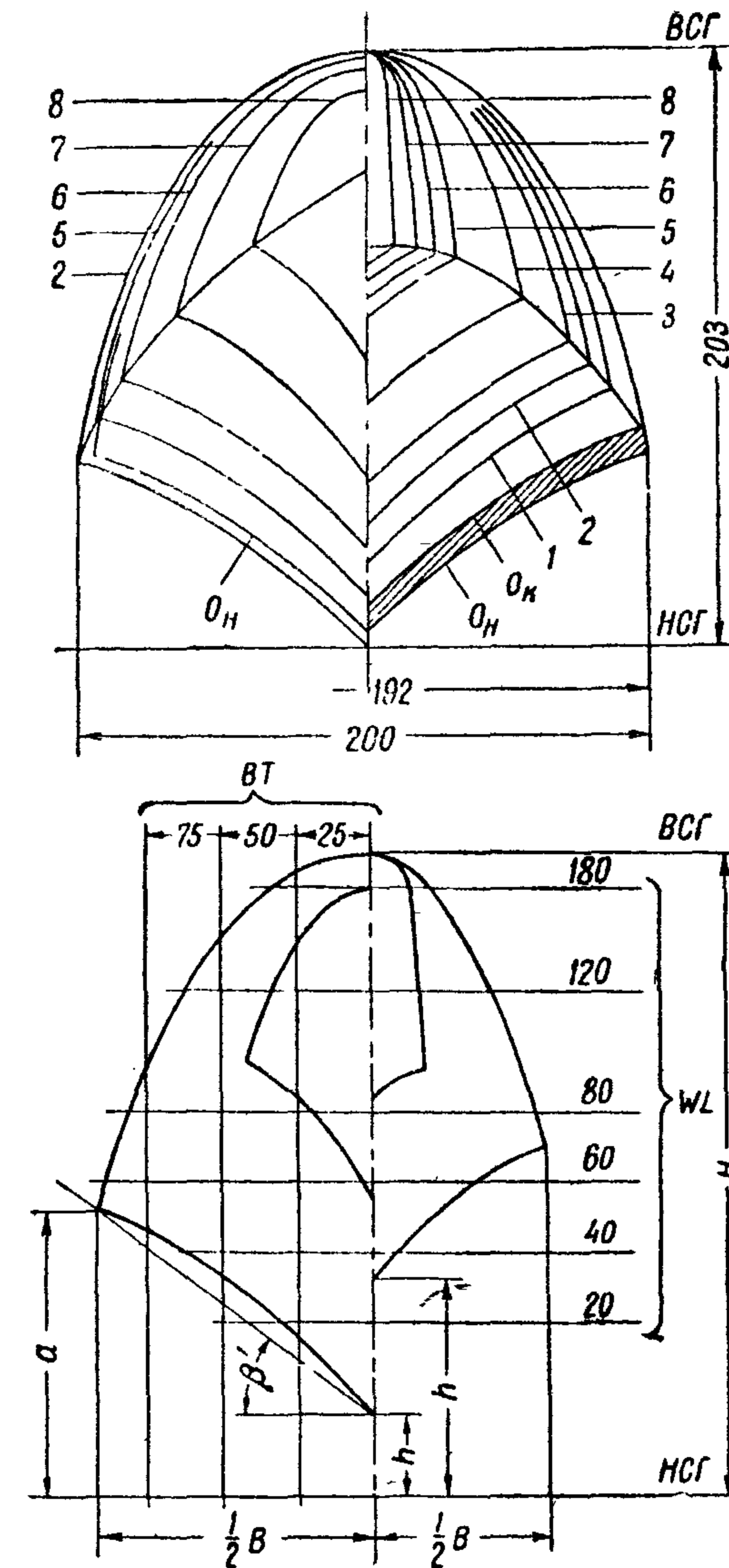


Фиг. 167

Фиг. 165 - 167. Графики результатов испытаний модели № 7 (фиг 163) Испытания производились с двумя спаренными поплавками



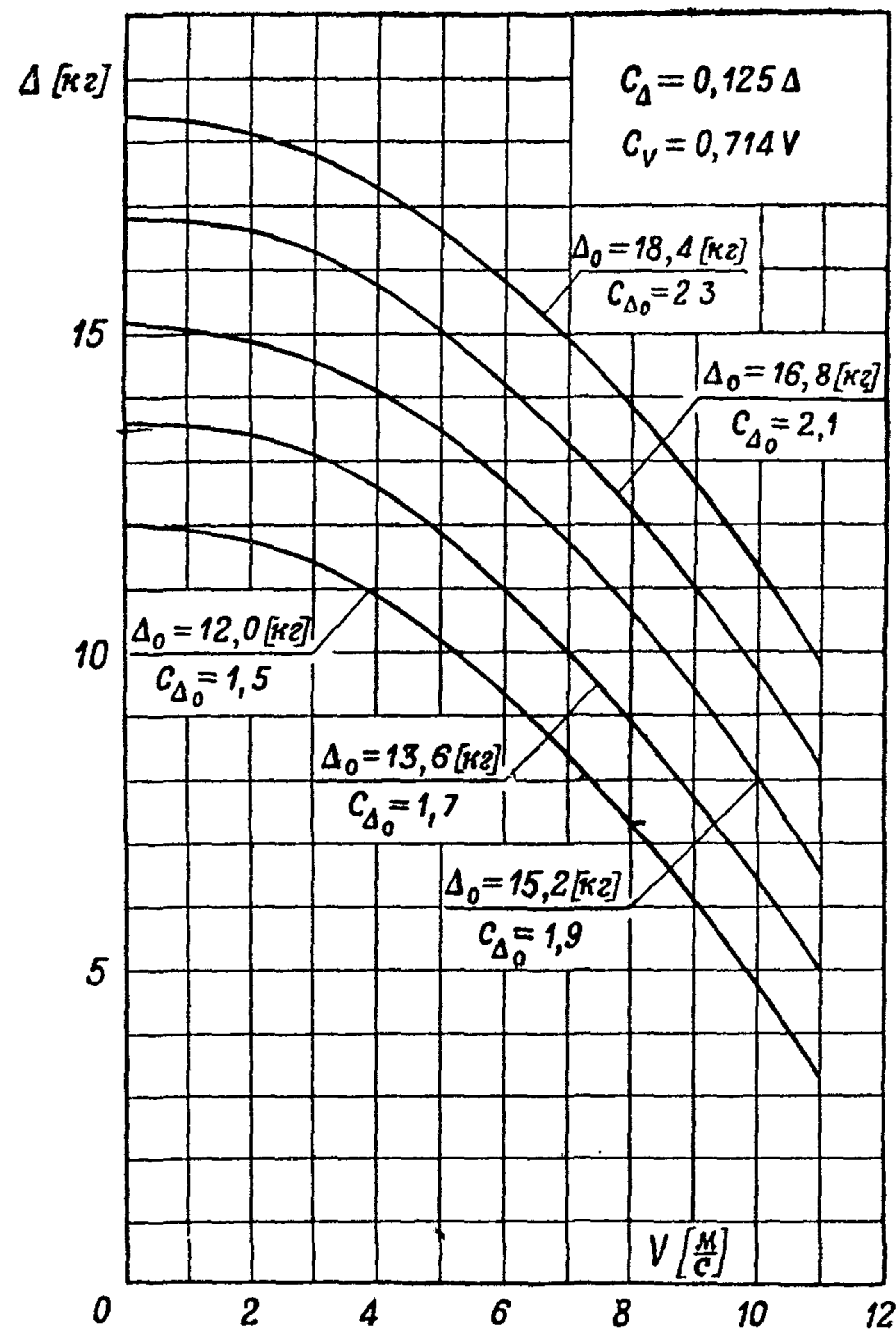
1. Ширина модели на миделе $B = 200$ мм
2. Длина носовой части $L_n = 4,17 B$
3. Длина кормовой части $L_m = 4,17 B$
4. Удлинение поплавка $\frac{L_n + L_m}{B} = 8,34$
5. Длина цилиндрической вставки $L_n = 0$
6. Координаты центра тяжести $x_T = 0,42 B$; $z_T = 2,295 B$
7. Высота редана: по килю $h_1 = 0,064 B$
по скуле $h'_1 = 0,0545 B$
8. Угол продольной килеватости
кормовой части $\gamma_2 = 9^\circ 00'$
9. Углы поперечной килеватости у редана
внутренний (лекало)
внешний $\beta' = 32^\circ 10'$



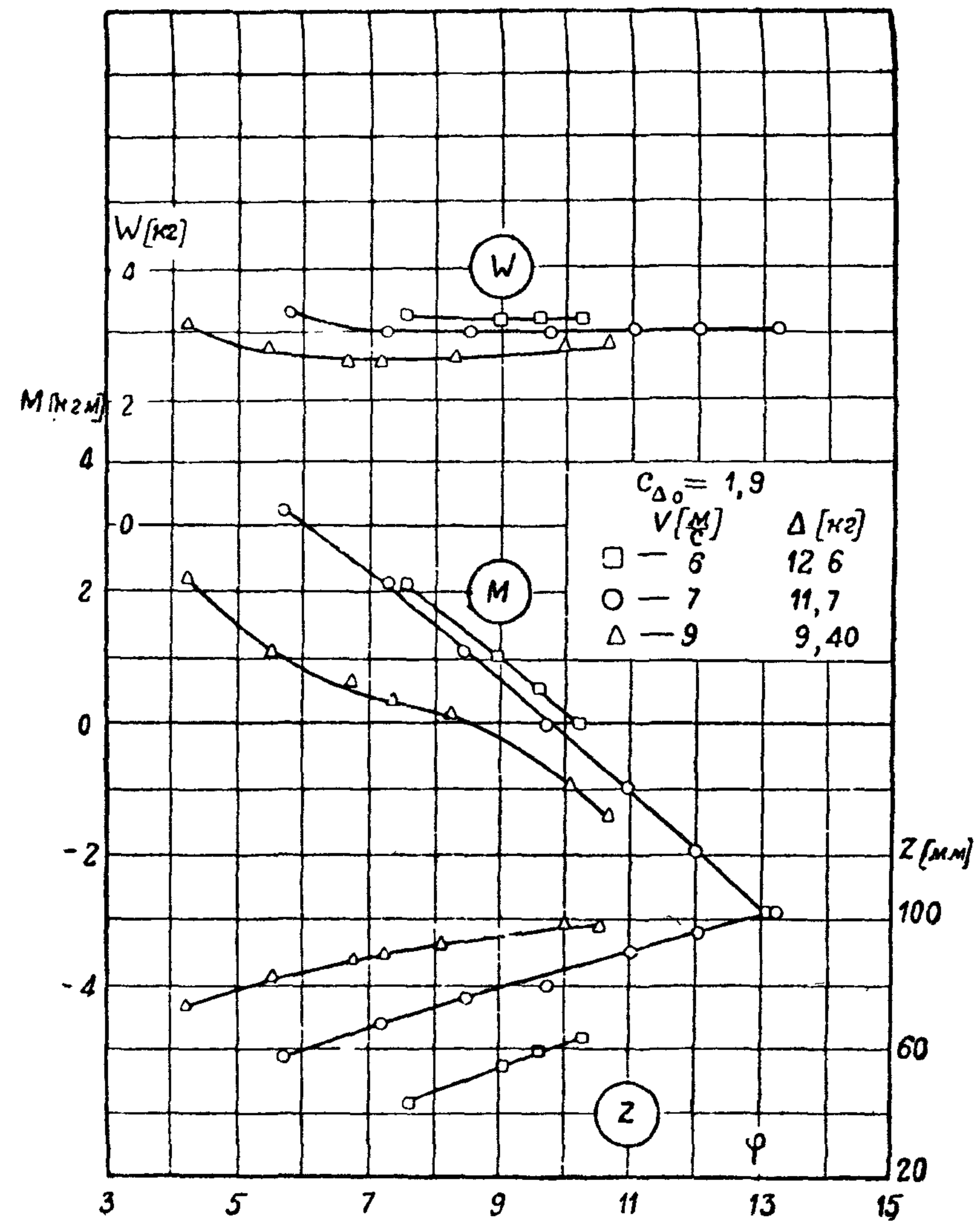
Фиг. 168. Теоретический чертёж модели № 8 (модели двухпоплавкового гидросамолета)

Таблица плазовых координат модели № 8 (фиг 168)

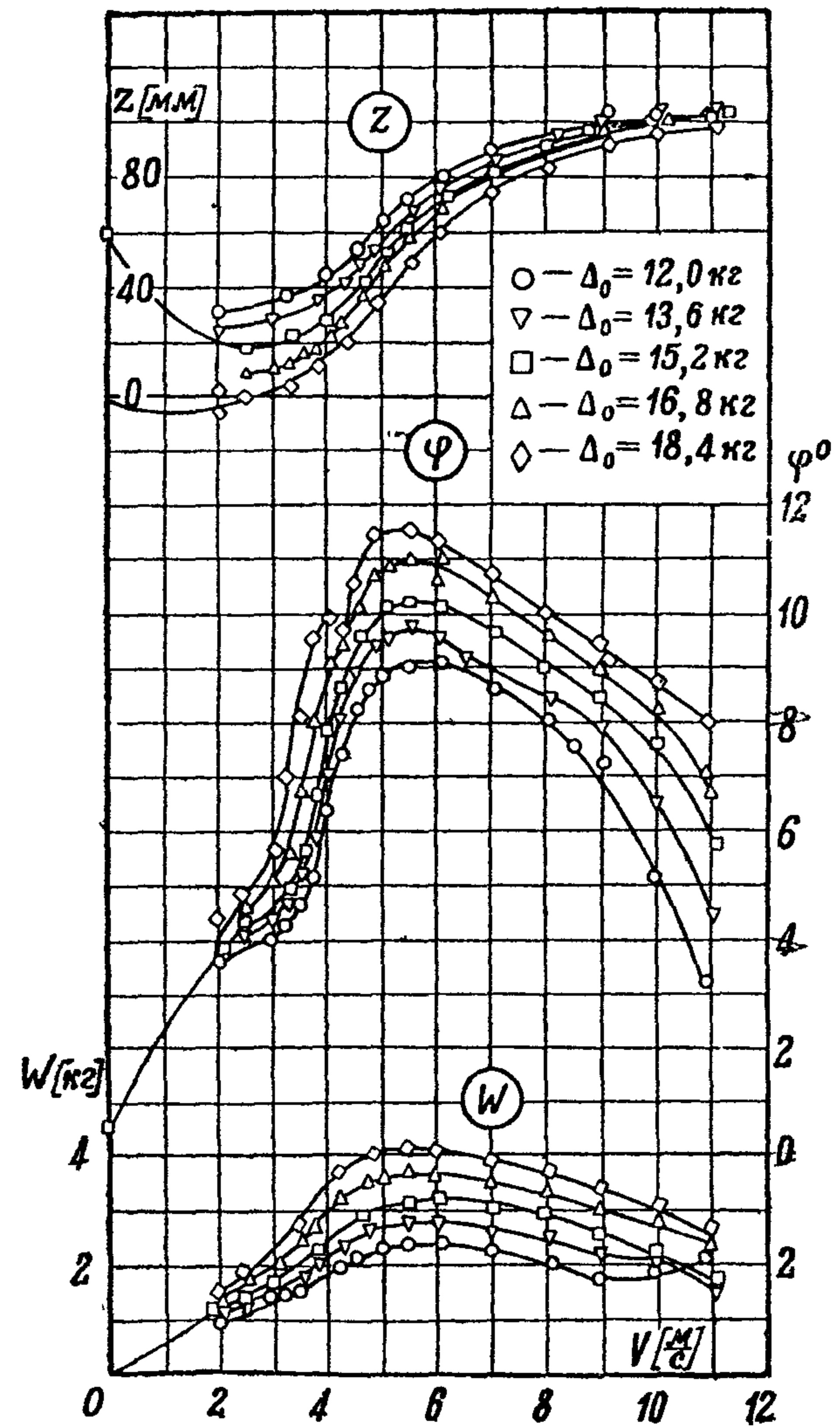
№ шпан	Δl	l	$\frac{1}{2} B$	h	a	H	β	β'	WL									BT			№ шпан				
									I-20	II-40	III-60	IV-80	V-100	VI-120	VII-140	VIII-160	IX-180	I-25	II-50	III-75					
9	30	835	0	163 0	163 0	—	Лекало	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9
8	60	805	39 6	94 0	138 0	190 8		47 40'	—	—	—	—	—	—	—	39 0	31 8	19 6	127 0	—	—	—	—	—	8
7	90	745	67 0	56 0	114 4	198 0		41°05	—	—	2 8	—	—	65 0	57 5	47 5	34 0	85 4	105 4	—	—	—	—	—	7
6	90	655	85 4	31 0	92 5	201 5		35 45	—	8 8	30 0	—	83 5	77 0	68 8	57 9	43 4	55 6	74 8	88 2	—	—	—	—	6
5	90	565	94 0	16 0	78 6	203 0		33 40	4 0	25 8	53 2	93 2	88 4	82 0	73 8	63 0	47 6	39 2	58 0	71 6	—	—	—	—	5
4	90	475	98 0	7 8	69 9	203 0		32 23	12 8	37 2	71 5	95 6	90 6	83 9	75 7	64 6	48 6	30 2	48 6	61 8	—	—	—	—	4
3	180	385	99 6	3 2	64 7	203 0		31 45'	18 5	44 6	84 2	96 4	91 4	84 8	76 3	65 0	48 8	25 5	43 3	56 3	—	—	—	—	3
2	100	205	100	0	62 0	203 0		31 50'	22 0	49 2	92,8	96 4	91 4	84 8	76 3	65 0	48 8	22 4	40 4	53 5	—	—	—	—	2
1	105	105	98 8	1 4	62 5	203 0		31 55'	20 6	47 2	87 8	95 6	90 6	84 2	75 6	64 0	48 2	23 5	41 8	55 0	—	—	—	—	1
0 _н	0	0	96 0	4 4	64 7	203 0		32 10	17 2	42 8	81 3	92 5	88 0	82 0	73 8	63 0	47 5	26 7	44 5	57 5	—	—	—	—	0 _н
0 _к	134	0	93 5	12 8	75 6	203 0		33 55	—	—	—	92 5	88 0	82 0	73 8	63 0	47 5	35 5	54 4	68 2	—	—	—	—	0 _к
1	105	134	84 4	28 6	88 0	203 0		35 20'	—	—	—	—	82 2	77 3	69 8	59 8	45 2	31 8	70 5	84 2	—	—	—	—	1
2	100	239	76 8	41 8	96 6	203 0		35 30'	—	—	—	—	76 4	72 4	66 0	57 0	43 2	64 8	83 2	96 0	—	—	—	—	2
3	180	339	69 6	56 0	105 4	203 0		35 22'	—	—	—	—	—	66 4	61 0	53 0	41 0	78 2	95 5	—	—	—	—	—	3
4	183	519	54 0	83 3	120 0	203 0		34 13	—	—	—	—	—	54 0	49 8	43 8	34 6	103 7	118 2	—	—	—	—	—	4
5	43	702	31 6	113 3	133 2	203 0		32 20	—	—	—	—	—	—	30 8	28 2	23 3	130,4	—	—	—	—	—	—	5
6	30	745	24 0	120 8	135 6	203 0		31°43	—	—	—	—	—	—	23 8	22 0	18 5	—	—	—	—	—	—	—	6
7	30	775	17 0	126 1	136 8	203 0		32 20	—	—	—	—	—	—	17 4	16 0	13 8	—	—	—	—	—	—	—	7
8	30	805	10	131 4	137 6	203 0		31 50'	—	—	—	—	—	—	9 8	9 4	8 8	—	—	—	—	—	—	—	8
9		835	0	136 6	136 6	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9



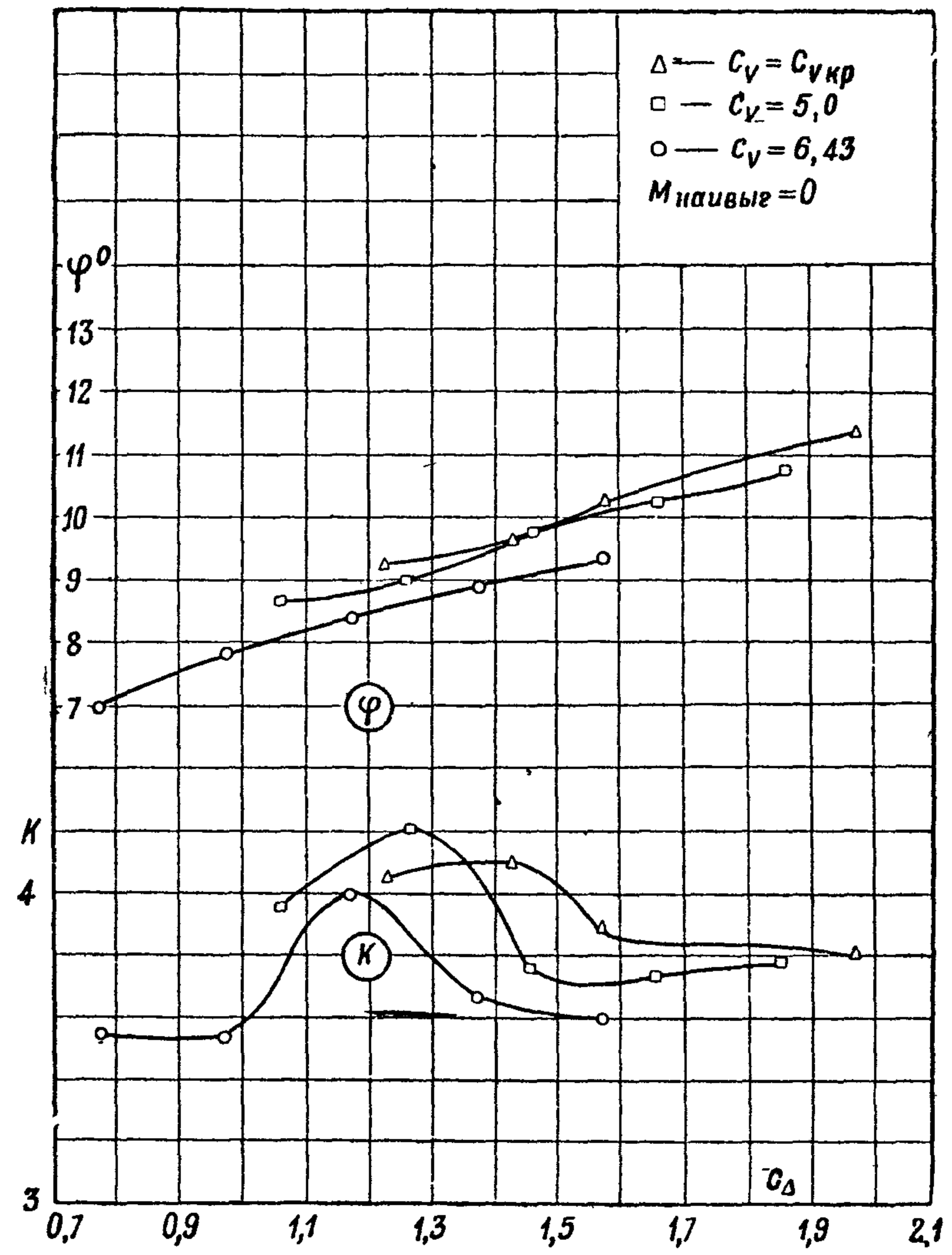
Фиг 169 Кривые нагрузок на воду для моделей № 8, 9, 10, 11 (фиг 168, 173 178 и 183)



Фиг 171

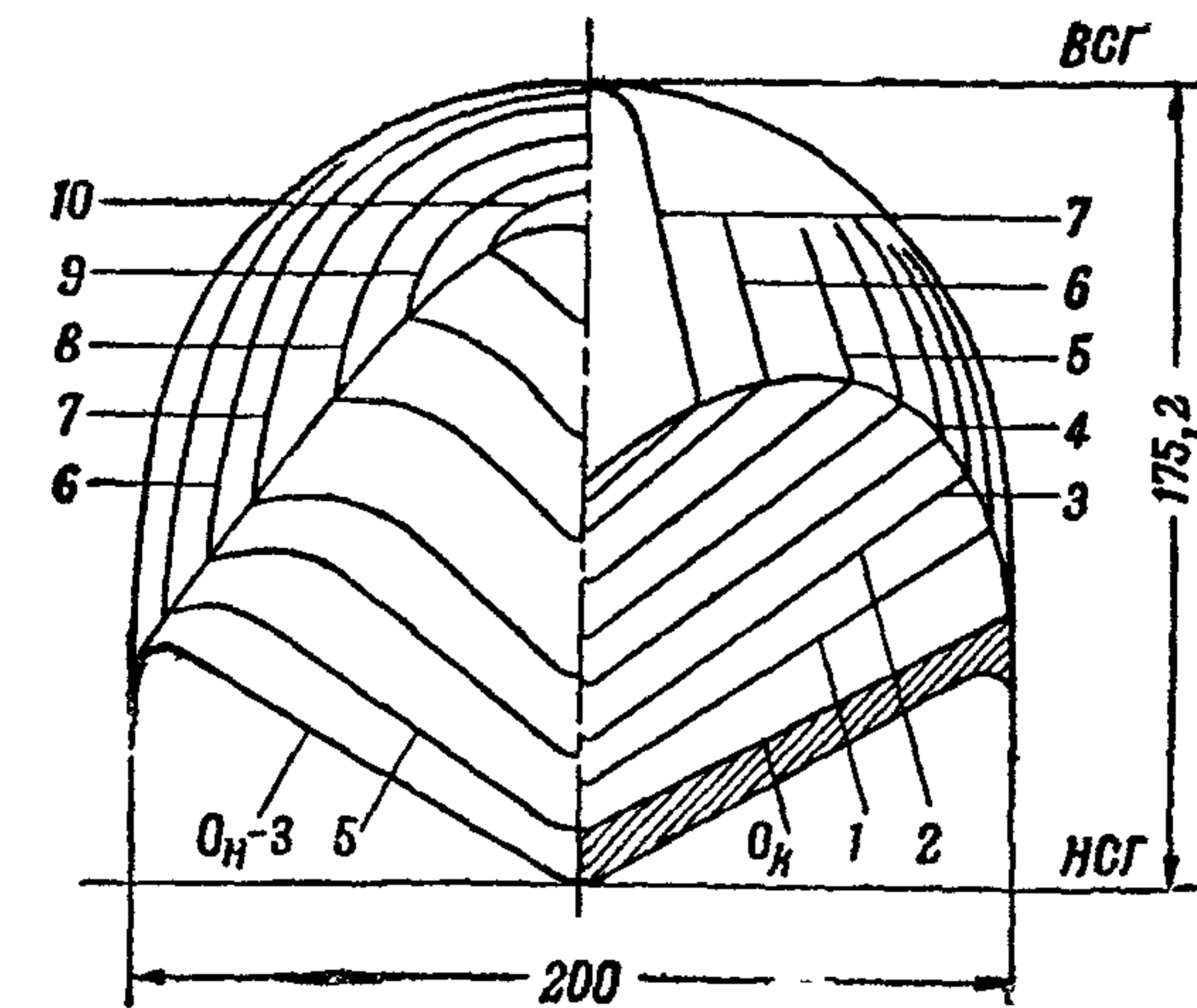
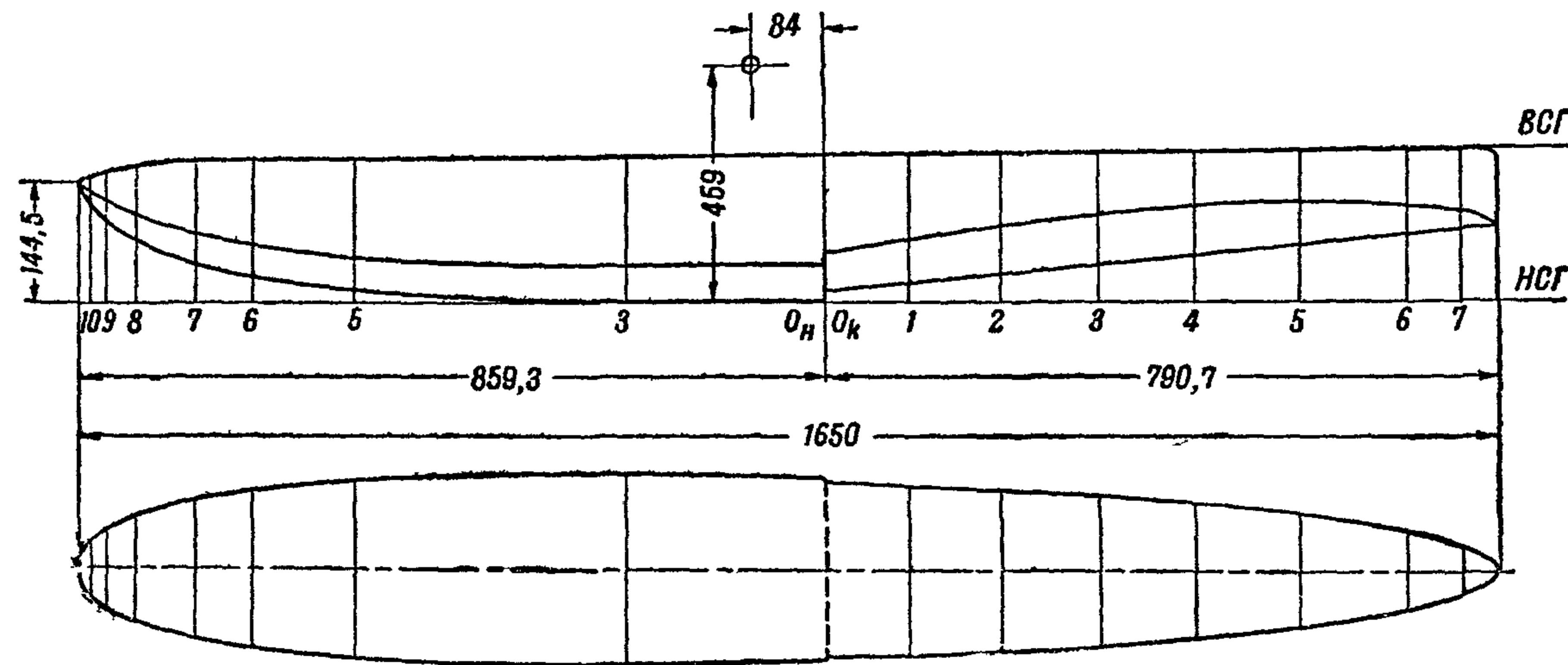


Фиг. 170

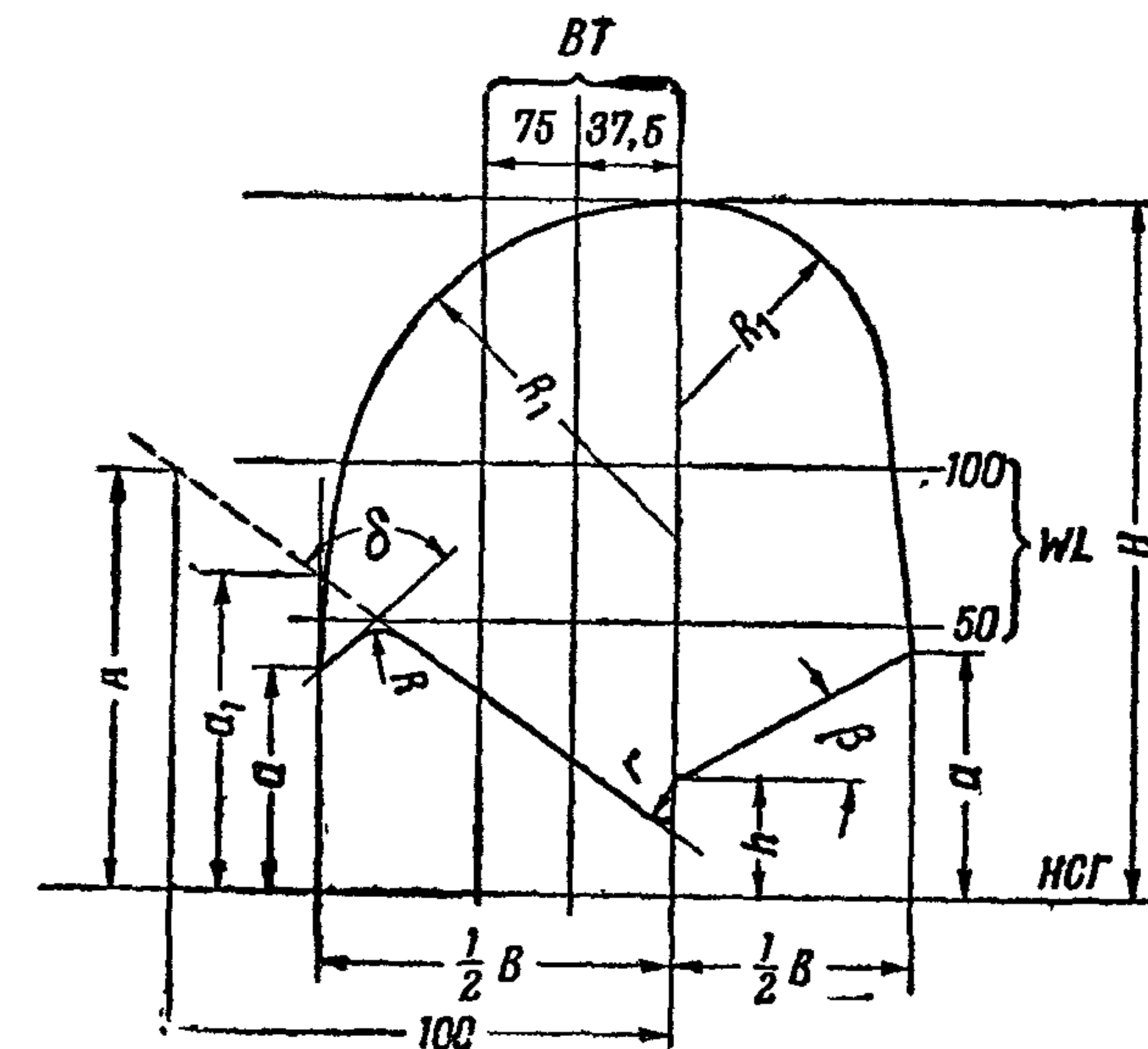


Фиг. 172

Фиг. 170—172. Графики результатов испытаний модели № 8 (фиг. 168). Испытания производились с одним поплавком



1. Ширина модели на редане $B = 200$ мм
2. Длина носовой части $L_n = 4,28 B$
3. Длина кормовой части $L_m = 3,97 B$
4. Удлинение поплавка $\frac{L_n + L_m}{B} = 8,25$
5. Длина цилиндрической вставки $L_{ц} = 1,73 B$
6. Координаты центра тяжести $x_T = 0,42 B$
 $z_T = 2,295 B$
7. Высота редана по киллю $h_1 = 0,9575 B$
по скуле $h_2 = 0,09 B$
8. Угол продольной килеватости кормовой части $\gamma_2 = 6^\circ 25'$
9. Углы поперечной килеватости на редане
внутренний $\beta = 30^\circ 00'$
внешний $\beta' = 25^\circ 00'$
10. Полное водоизмещение поплавка $D = 27,10$ кг

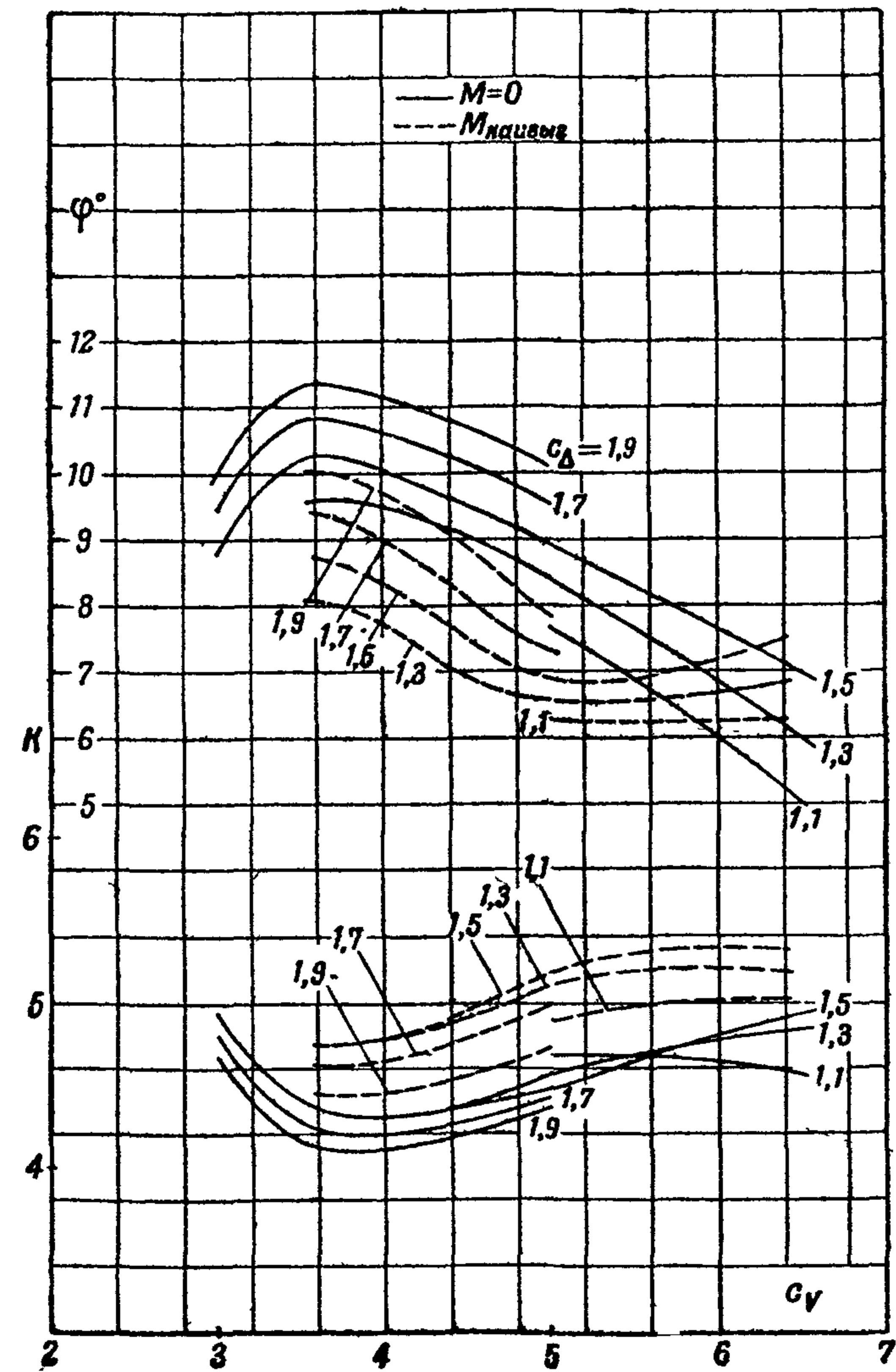


Фиг. 173. Теоретический чертёж модели № 9 (модели двухпоплавкового гидросамолета)

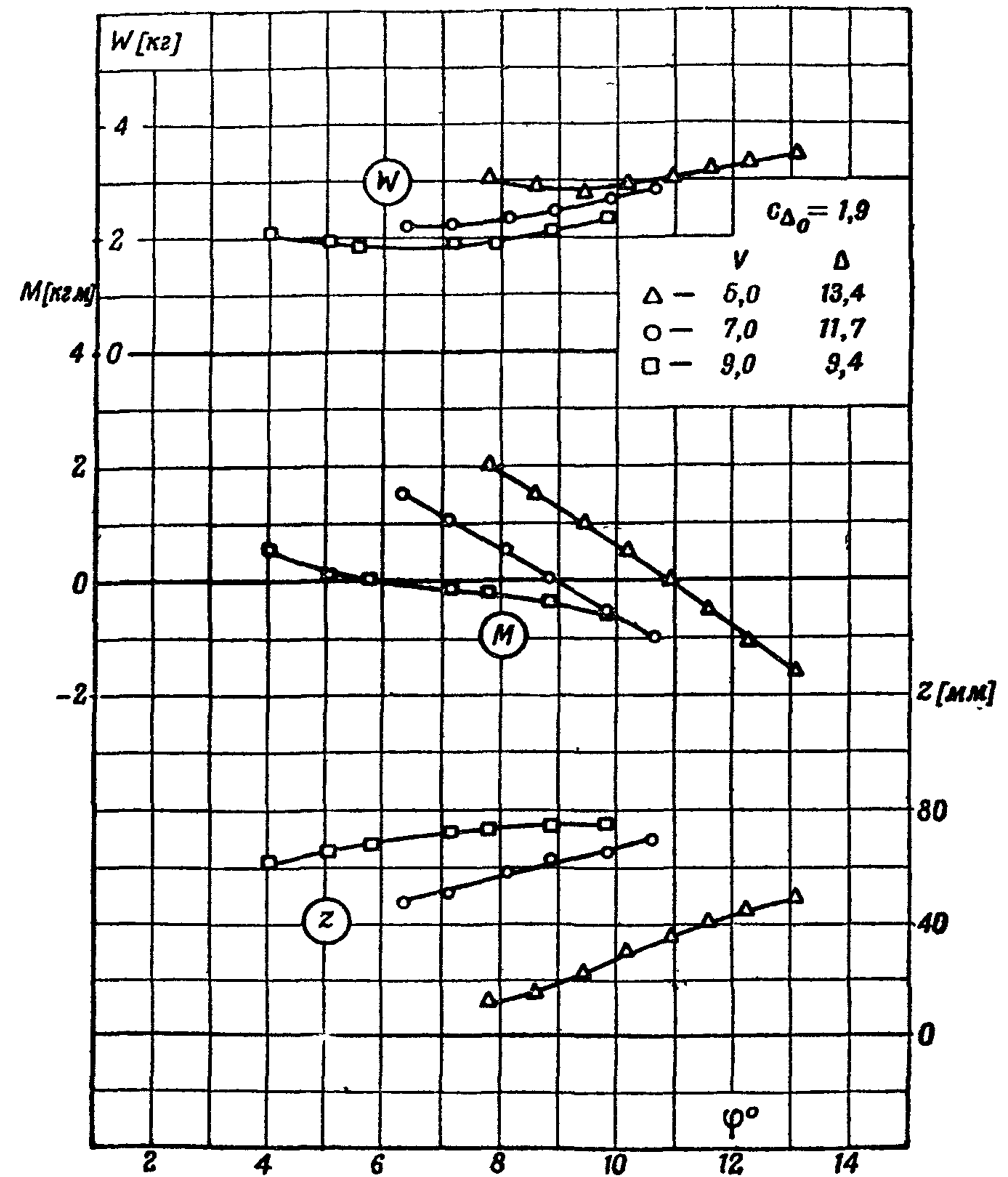
Таблица плазовых координат модели № 9 (фиг. 173)

Таблица XXV

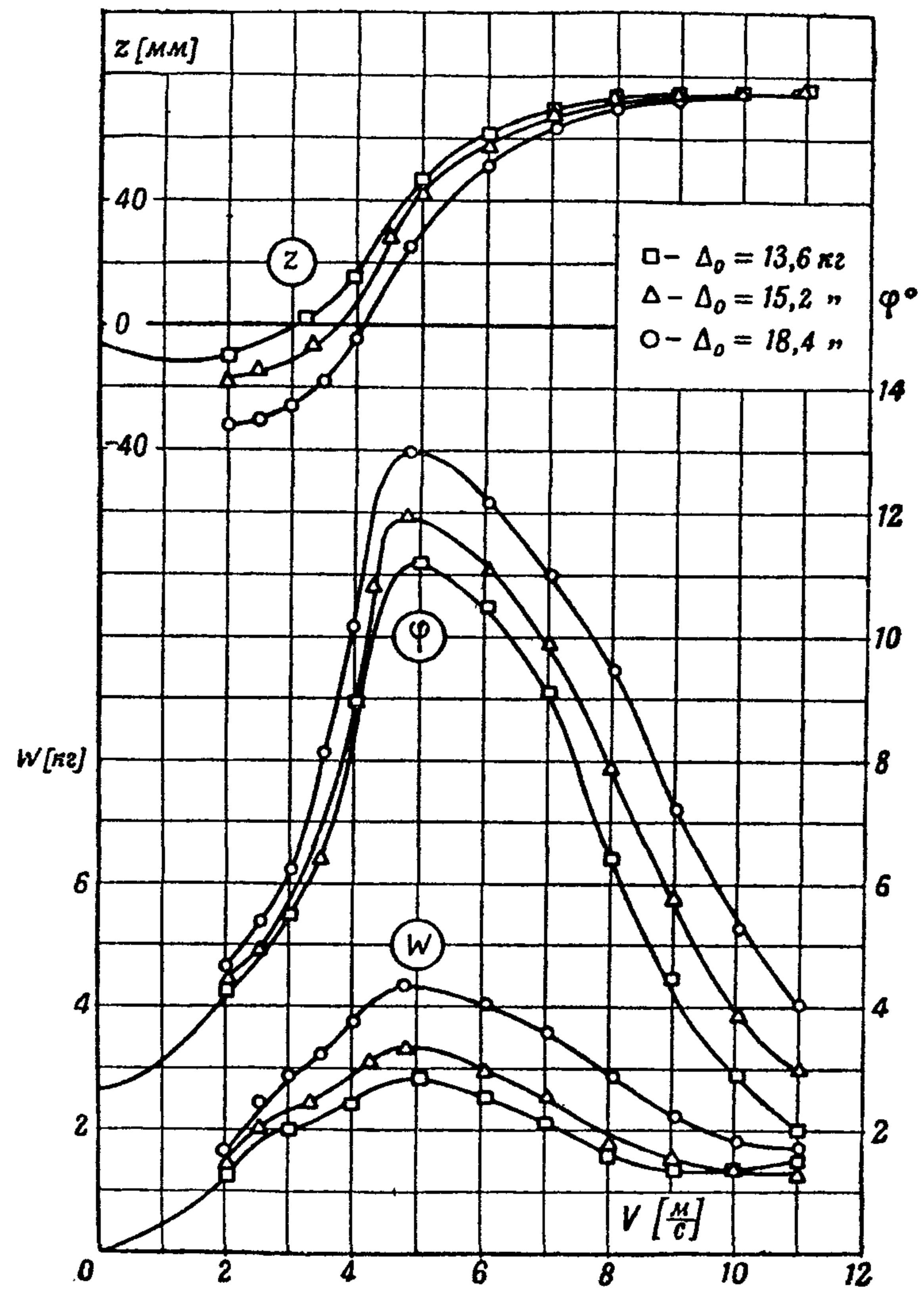
№ шп.	Δl	l	$\frac{1}{2} B$	h	r	A	a	R	R_1	H	a_1	β	δ	WL		BT		№ шп.
														I—50	II—100	I—37,5	II—75	
11		859,3	—	144,5	—	—	144,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11
10	7,8	851,5	23,2	123,5	2,8	221,5	138,3	57,0	21,4	151,2	145,2	44°42'	—	—	—	—	—	10
9	19,2	832,3	41,0	98,8	3,7	193,1	125,0	51,7	38,5	157,1	136,3	43°54'	—	—	2,3	124,2	—	9
8	31,0	801,3	55,5	75,0	4,9	165,2	106,8	43,8	51,8	162,9	124,2	42°36'	—	—	70,2	103,6	—	8
7	63,0	738,3	73,8	45,2	7,6	126,8	81,0	31,2	67,1	170,2	104,7	40°00'	—	8,2	—	74,2	—	7
6	63,0	675,3	85,2	26,9	10,1	101,0	64,6	22,2	76,5	173,4	89,5	37°30'	112°00'	33,8	—	52,7	69,8	6
5	118,8	556,5	96,0	8,0	14,2	70,9	49,4	12,6	87,3	175,2	68,2	33°18'	106°42'	68,2	—	29,7	54,3	5
4	111,8	444,7	99,5	0,8	17,0	57,6	44,4	9,0	92,3	175,2	57,0	30°48'	105°12'	89,1	—	20,1	42,3	4
3	111,9	332,8	100,0	0	18,0	55,0	44,0	7,5	94,0	175,2	55,0	30°00'	105°00'	91,8	—	18,8	40,4	3
2	111,8	221,0	100,0	0	18,0	55,0	44,0	7,5	94,0	175,2	55,0	30°00'	105°00'	91,8	—	18,8	40,4	2
1	111,9	109,1	100,0	0	18,0	55,0	44,0	7,5	94,0	175,2	55,0	30°00'	105°00'	91,8	—	18,8	40,4	1
0 _H	109,1	0	100,0	0	18,0	55,0	44,0	7,5	94,0	175,2	55,0	30°00'	105°00'	91,8	—	18,8	40,4	0 _H
0 _K	0	0	97,3	11,5	2,2	63,0	62,0	—	94,0	175,2	62,0	26°53'	—	—	—	—	—	0 _K
1	103,4	103,4	93,2	21,8	2,2	82,4	78,5	—	91,8	175,2	78,5	31°23'	—	—	—	—	—	1
2	107,7	211,1	87,0	32,2	2,2	98,2	90,0	—	86,2	175,2	90,0	33°35'	—	—	—	—	—	2
3	111,9	323,0	79,2	43,2	2,2	114,2	99,3	—	77,8	175,2	99,3	35°34'	—	—	—	—	—	3
4	111,8	434,8	70,6	54,2	2,2	128,3	106,5	—	67,3	175,2	106,5	36°48'	—	—	—	—	—	4
5	125,9	560,7	58,0	66,2	2,2	145,3	112,2	—	51,5	175,2	112,2	38°32'	—	—	—	—	—	5
6	125,9	686,6	39,6	78,8	2,2	164,3	112,2	—	28,8	175,2	112,2	40°47'	—	—	—	—	—	6
7	63,0	749,6	24,0	84,9	2,2	173,4	106,6	—	13,2	175,2	105,5	41°45'	—	—	—	—	—	7
8	41,1	790,7	—	89,0	—	—	89,0	—	—	175,2 ¹	—	—	—	—	—	—	—	8



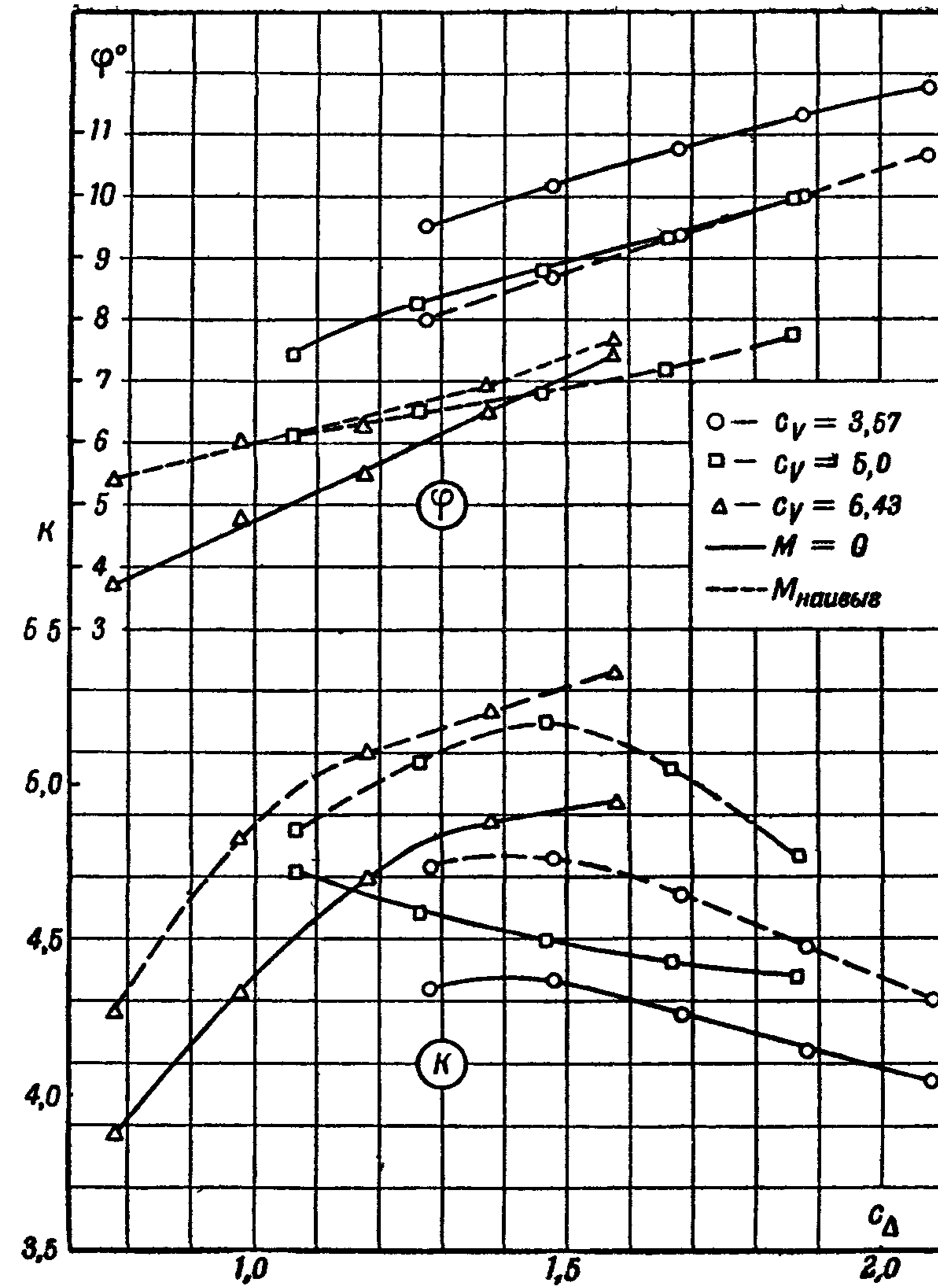
Фиг. 174



Фиг. 176

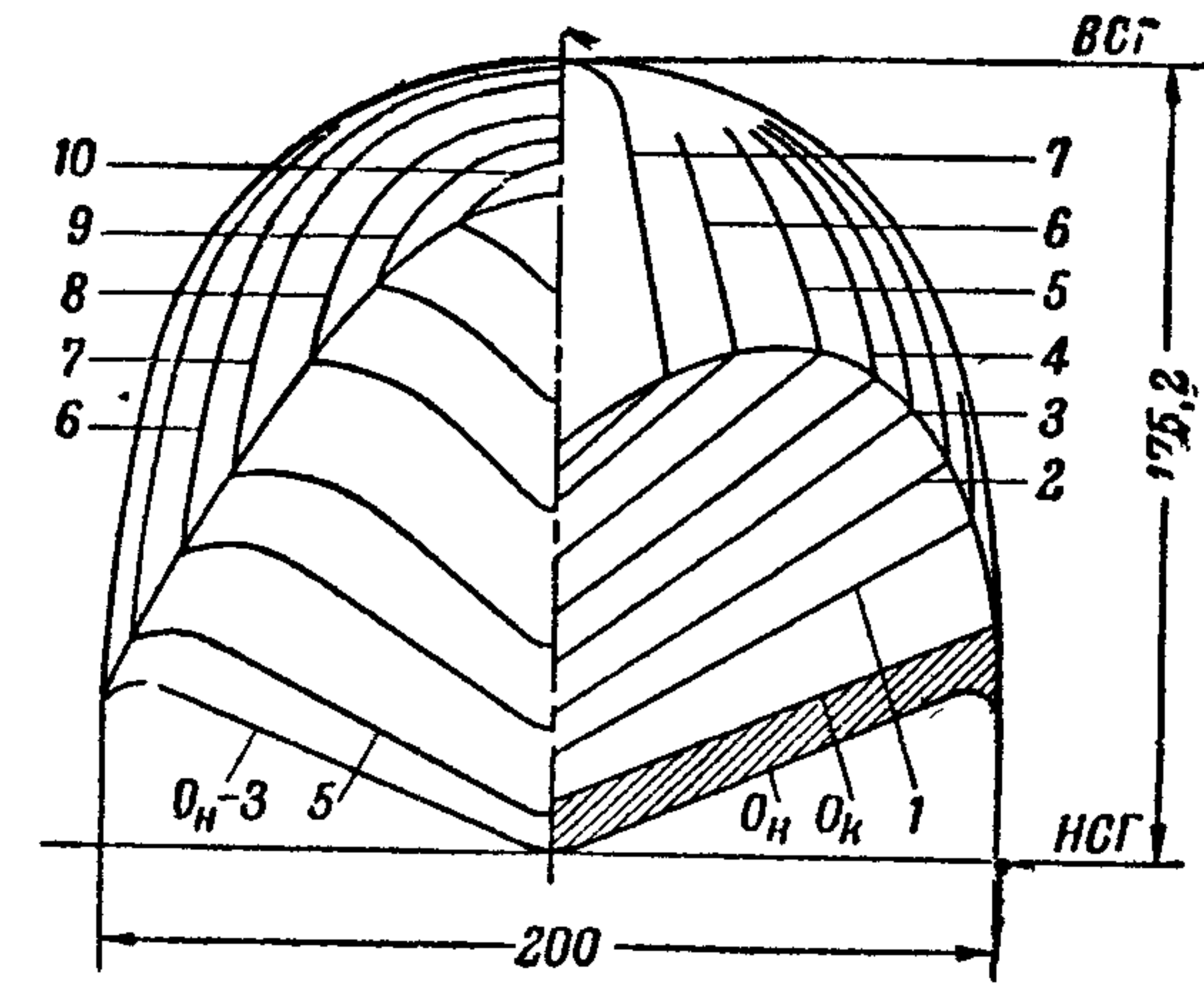
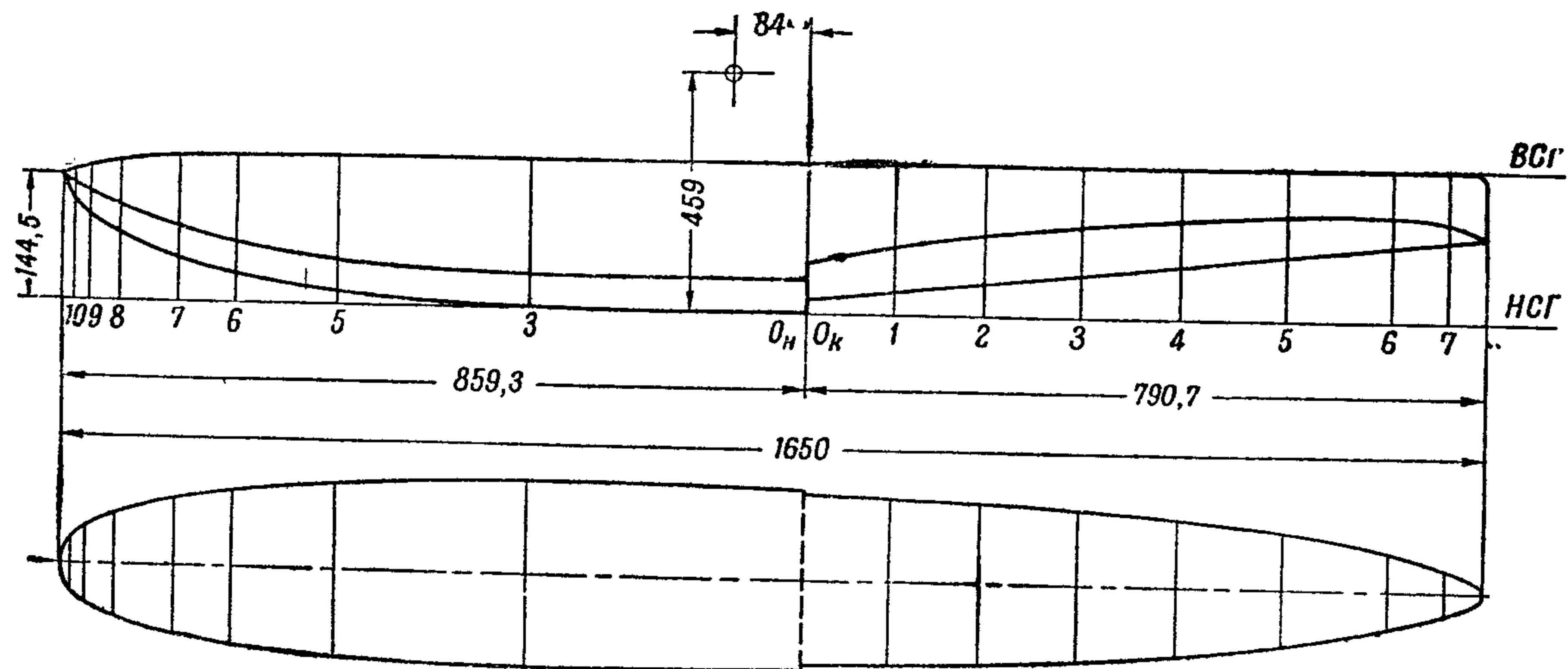


Фиг 175

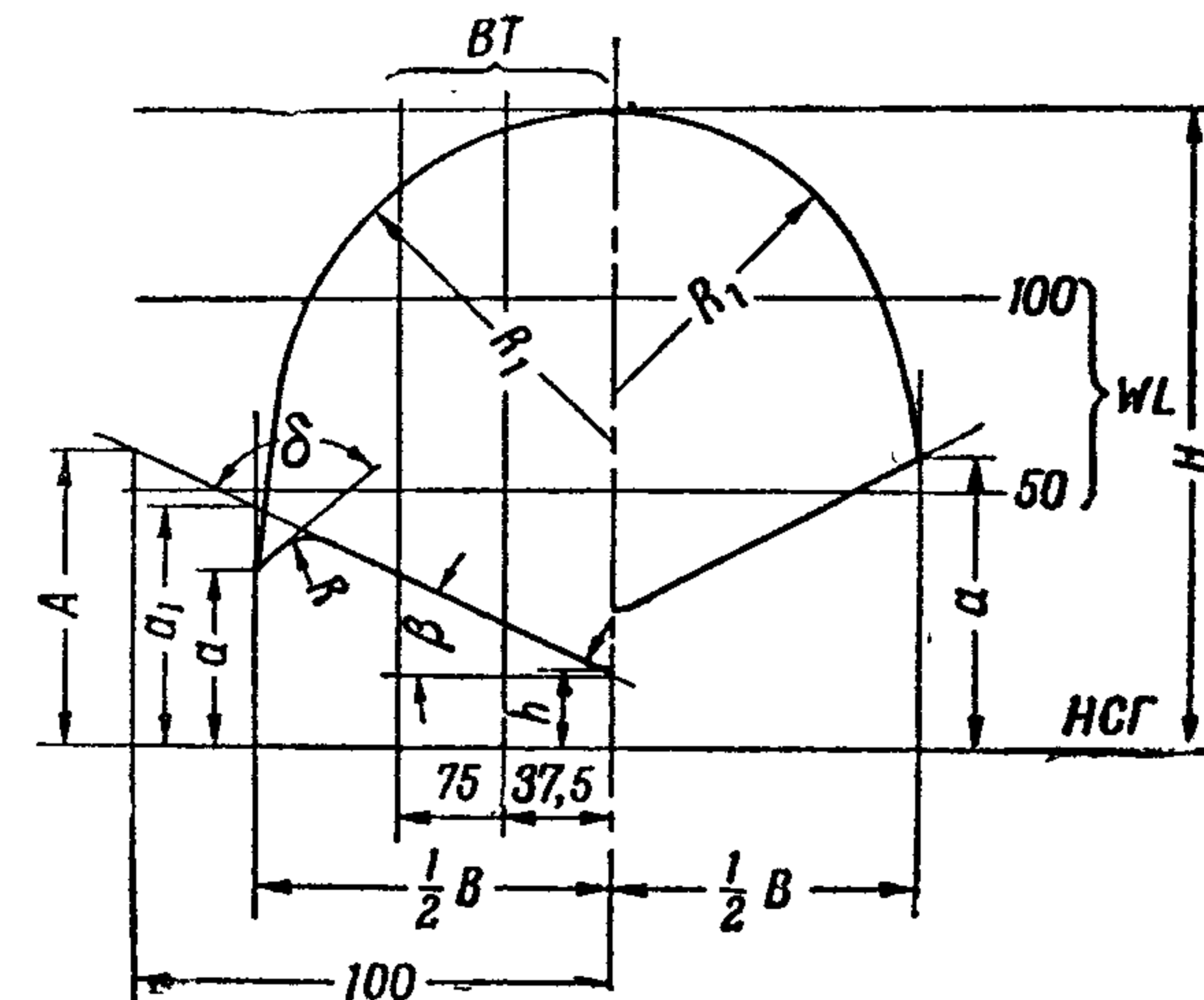


Фиг 177

Фиг 174—177 Графики результатов испытаний модели № 13 (фиг 194) Испытания производились с одним поплавком



1. Ширина модели на редане $B = 200$ мм
2. Длина носовой части $L_v = 4,28 B$
3. Длина кормовой части $L_m = 3,97 B$
4. Удлинение поплавка $\frac{L_v + L_m}{B} = 8,25$
5. Длина цилиндрической вставки $L_{ц} = 1,73 B$
6. Координаты центра тяжести $x_T = 0,42 B$
 $z_T = 2,295 B$
7. Высота редана по килю $h_1 = 0,0575 B$
по скуле $h'_1 = 0,104 B$
8. Угол продольной килеватости $\gamma_2 = 6^\circ 25'$
9. Углы поперечной килеватости на редане:
внутренний $\beta = 23^\circ 00'$
внешний $\beta' = 18^\circ 30'$
10. Полное водоизмещение поплавка $D = 28,20$ кг

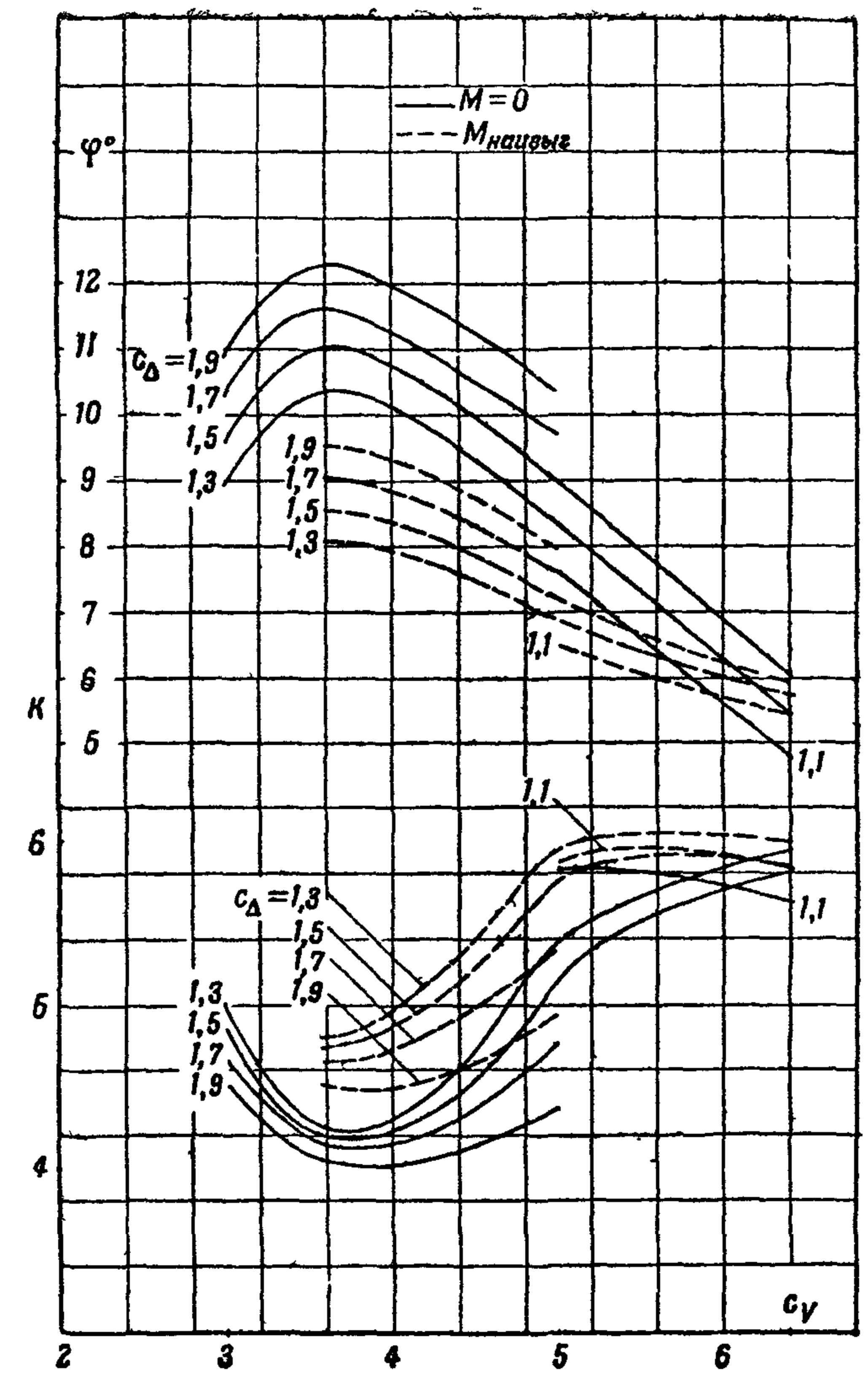


Фиг. 178. Теоретический чертеж модели № 10 (модели двухпоплавкового гидросамолета)

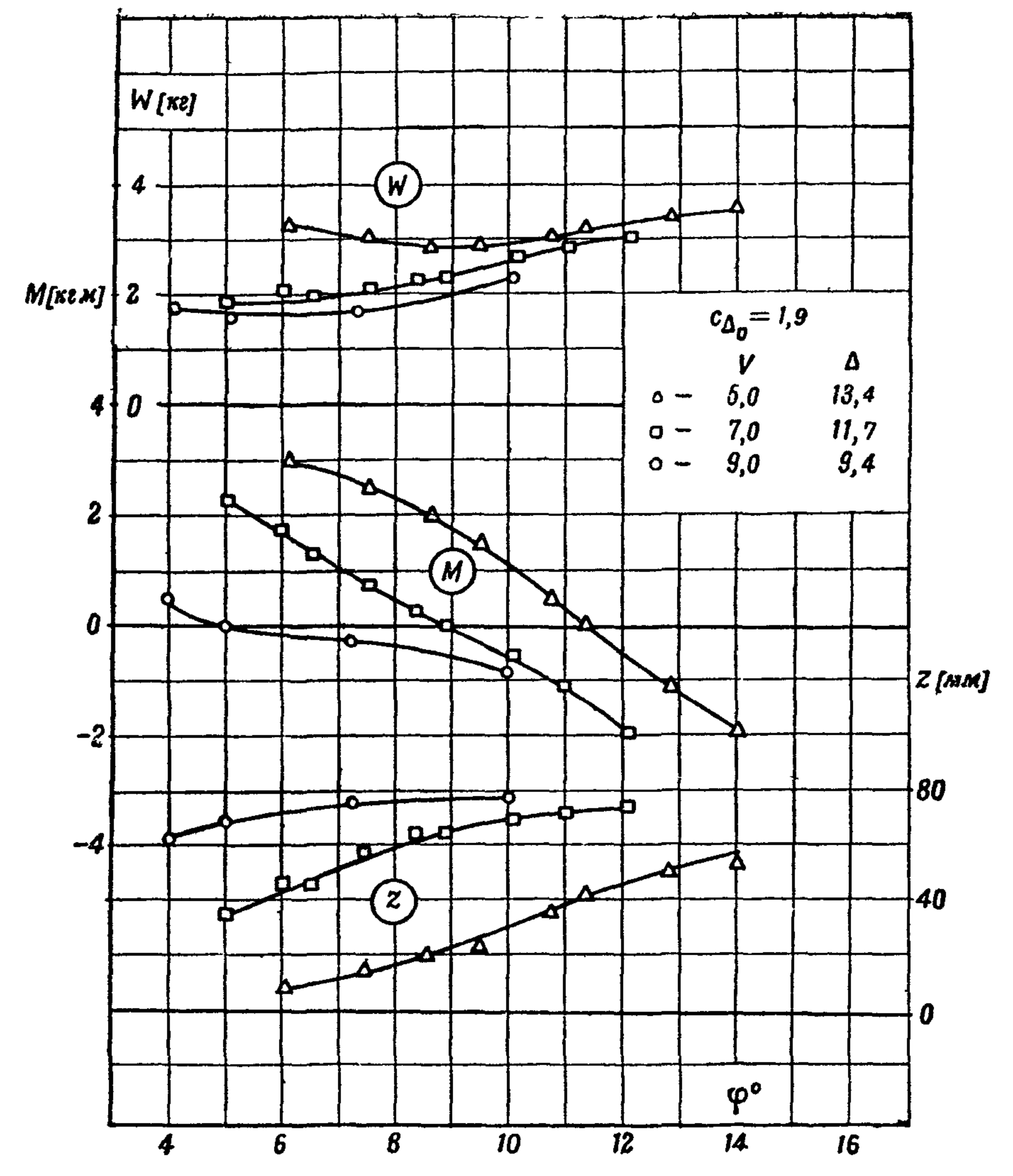
Таблица плазовых координат модели № 10 (фиг. 178)

Таблица XXVI

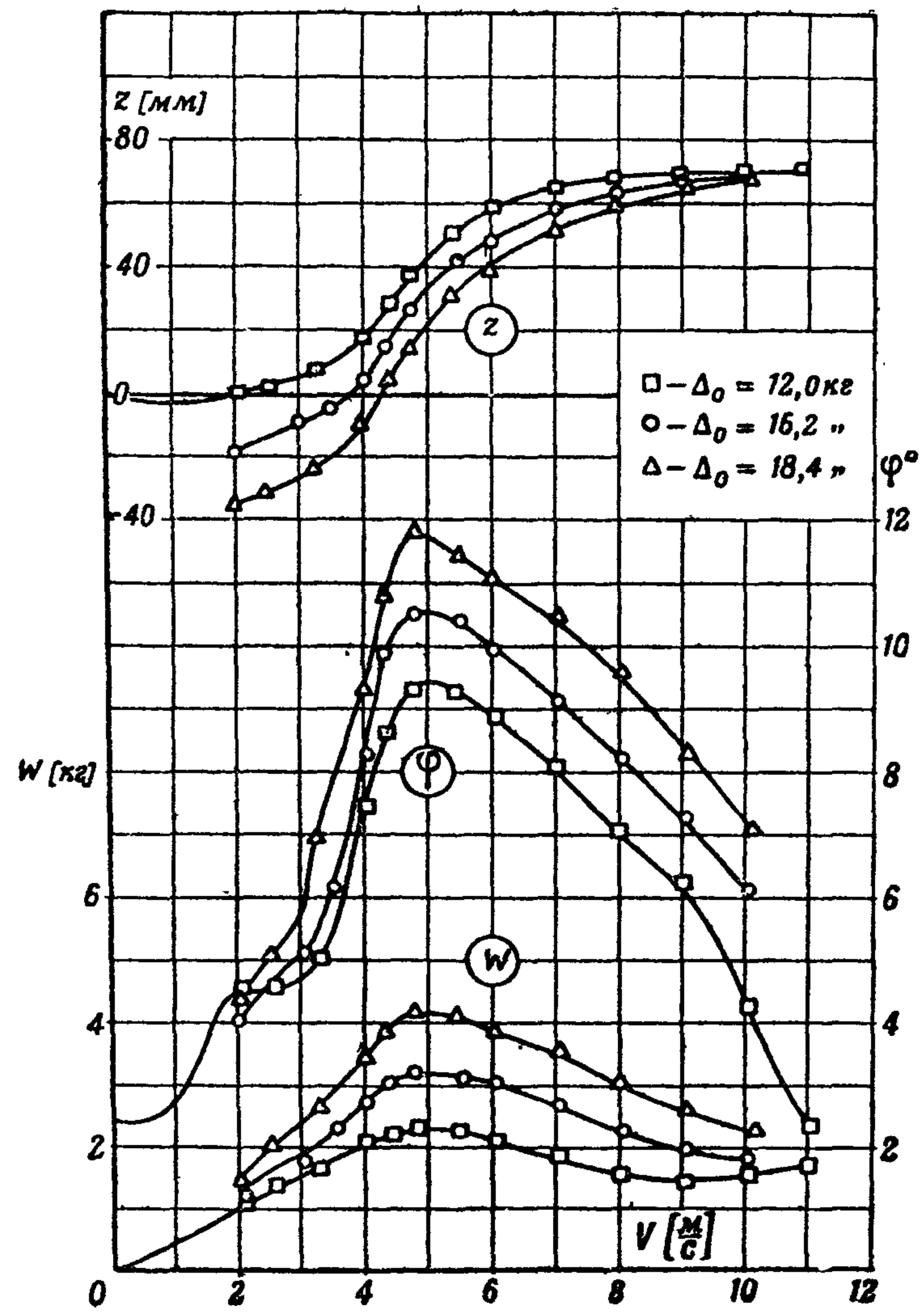
№ шп.	Δl	l	$\frac{1}{2} B$	h	r	A	a	R	R_1	H	a_1	β	δ	WL		BT		№ шп.
														I—50	II—100	I—37,5	II—75	
11		859,3	—	144,5	—	—	144,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11
10	7,8	851,5	23,2	123,5	2,8	221,5	137,4	57,0	21,4	151,2	145,3	44°42'	—	—	—	—	—	10
9	19,2	832,3	41,0	98,8	3,7	192,4	123,8	51,7	38,5	157,1	136,2	43°32'	—	—	2,8	123,1	—	9
8	31,0	801,3	55,5	75,0	4,9	161,9	107,0	43,8	51,8	162,9	122,6	41°30'	—	—	30,8	103,3	—	8
7	63,0	738,3	73,8	45,2	7,6	120,0	81,2	31,2	67,1	170,2	100,1	37°30'	—	8,8	—	72,1	—	7
6	63,0	675,3	85,2	26,9	10,1	91,2	62,8	22,2	76,5	173,4	81,4	33°32'	115°58'	38,8	—	49,5	67,2	6
5	118,8	556,5	96,0	8,0	14,2	58,0	43,2	12,6	87,3	175,2	56,0	27°24'	112°36'	95,0	—	25,5	45,3	5
4	111,8	444,7	99,5	0,8	16,8	43,7	34,8	9,0	92,3	175,2	43,6	24°03'	111°57'	97,5	—	15,8	32,7	4
3	111,9	332,8	100,0	0	17,3	41,0	32,2	7,3	94,0	175,2	41,0	23°00'	112°00'	98,2	—	14,2	30,2	3
2	111,8	221,0	100,0	0	17,3	41,0	32,2	7,3	94,0	175,2	41,0	23°00'	112°00'	98,2	—	14,2	30,2	2
1	111,9	109,1	100,0	0	17,3	41,0	32,2	7,3	94,0	175,2	41,0	23°00'	112°00'	98,2	—	14,2	30,2	1
0 _H	109,1	0	100,0	0	17,3	41,0	32,2	7,3	94,0	175,2	41,0	23°00'	112°00'	98,2	—	14,2	30,2	0 _H
0 _K	0	0	97,6	11,5	2,2	54,0	53,0	—	94,0	175,2	53,0	23°00'	—	—	92,2	—	—	0 _K
1	103,4	103,4	93,0	21,8	2,2	74,6	75,0	—	91,8	175,2	75,0	30°00'	—	—	90,4	—	—	1
2	107,7	211,1	87,0	32,2	2,2	97,0	89,0	—	86,2	175,2	89,0	33°35'	—	—	85,8	—	—	2
3	111,9	323,0	79,2	43,2	2,2	114,2	99,3	—	77,8	175,2	99,3	35°34'	—	—	79,0	—	—	3
4	111,8	434,8	70,6	54,2	2,2	128,3	106,5	—	67,3	175,2	106,5	36°47'	—	—	—	—	—	4
5	125,8	560,7	58,0	66,2	2,2	145,3	112,2	—	51,5	175,2	112,2	38°32'	—	—	—	—	—	5
6	125,9	686,6	39,6	78,8	2,2	164,3	112,2	—	28,8	175,2	112,2	40°47'	—	—	—	—	—	6
7	63,0	749,6	24,0	84,9	2,2	173,4	106,6	—	13,2	175,2	106,6	41°45'	—	—	—	—	—	7
8	41,1	790,7	—	89,0	—	—	89,0	—	—	175,2 ¹	—	—	—	—	—	—	—	8



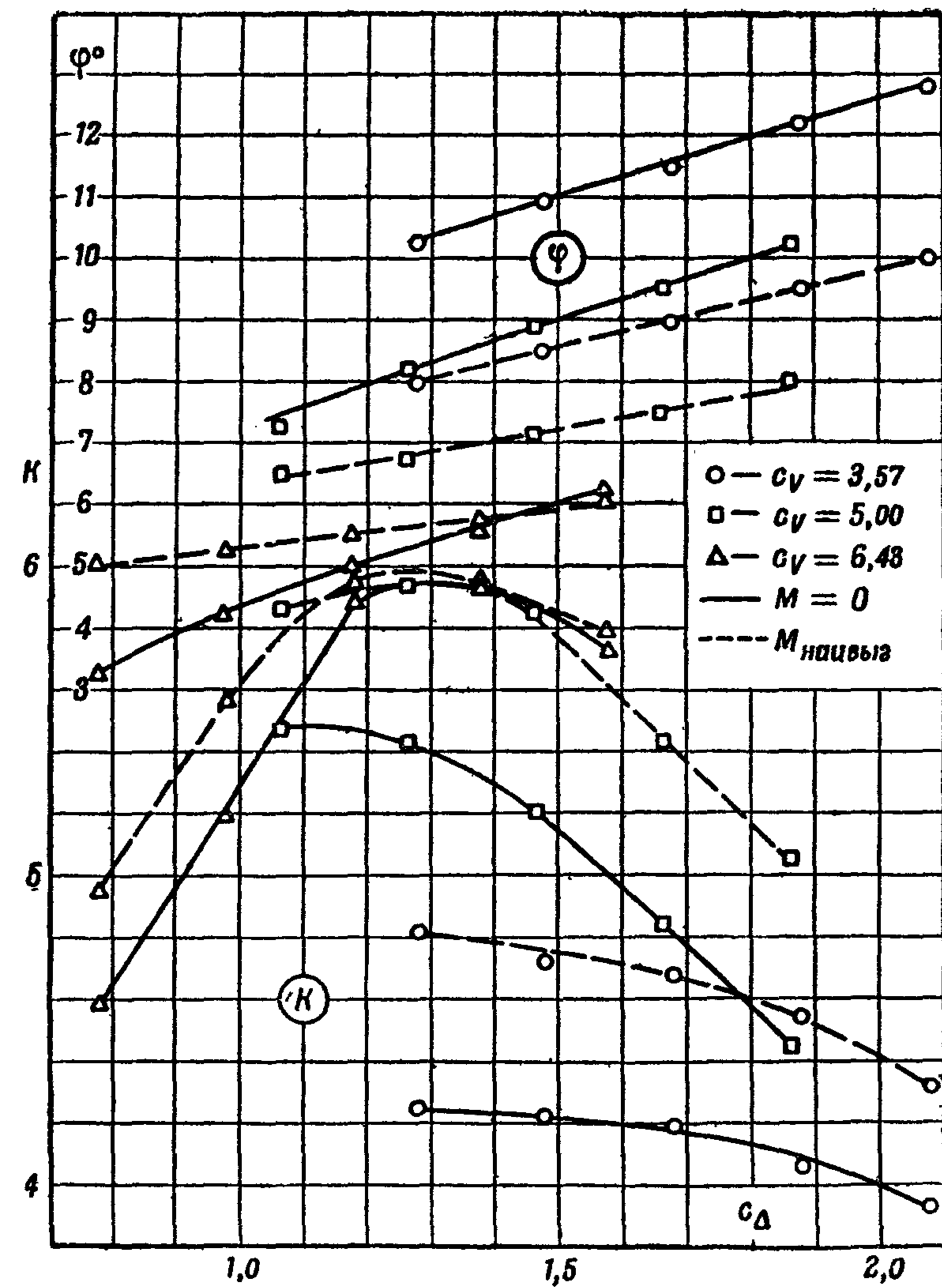
Фиг 179



Фиг 181

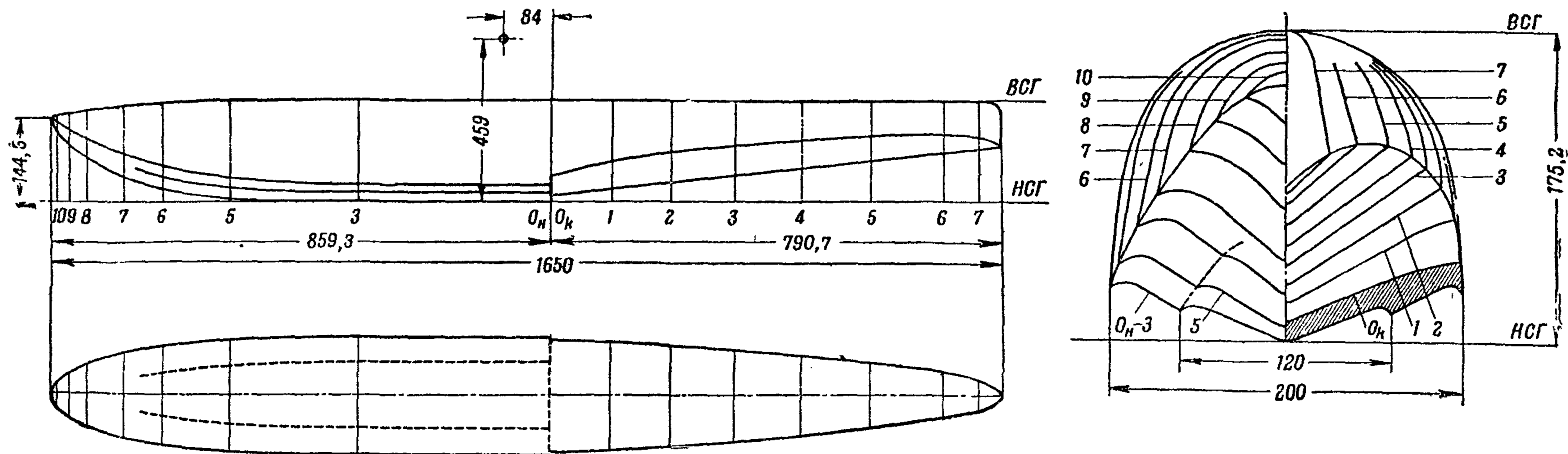


Фиг. 180

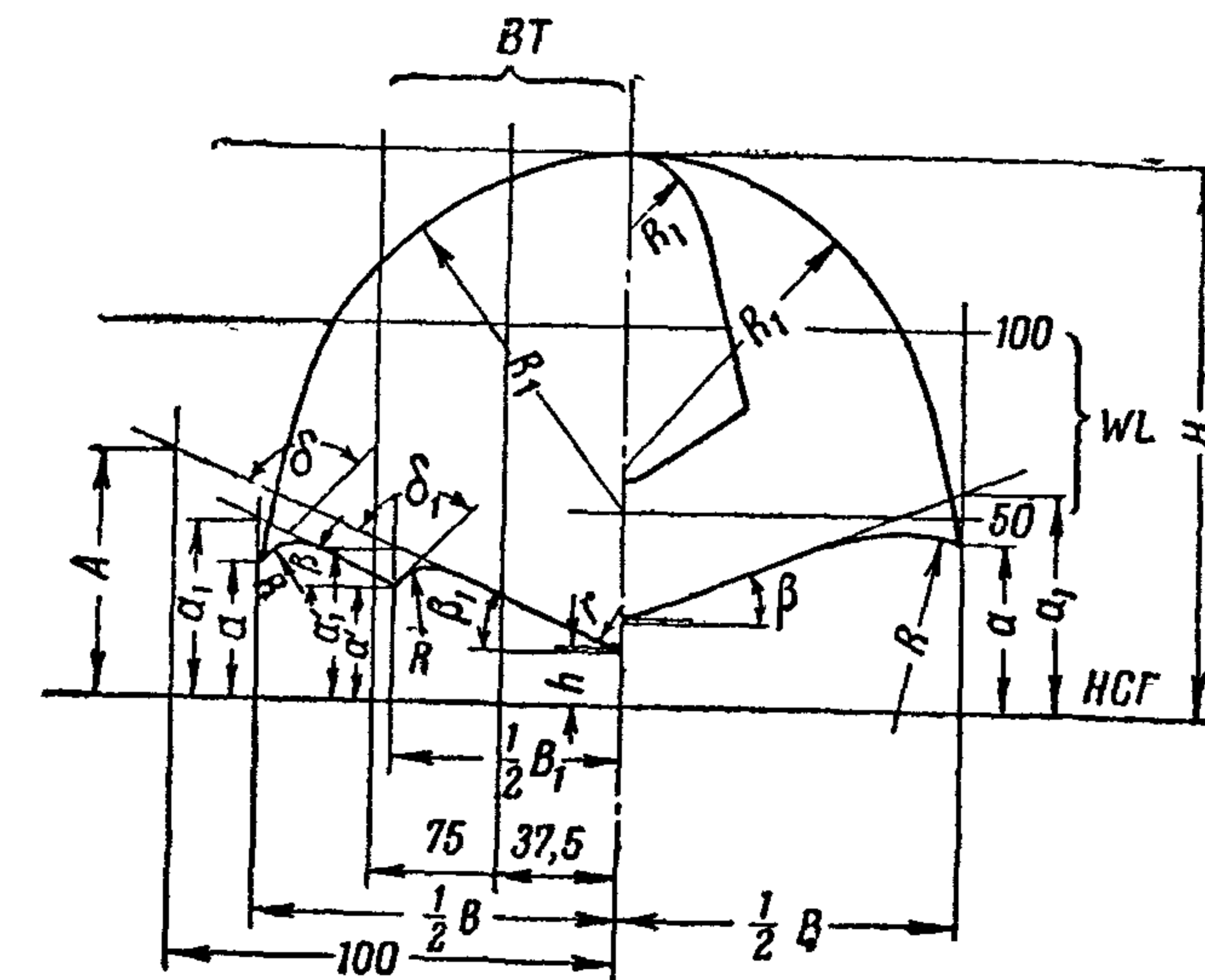


Фиг 182

Фиг. 179—182. Графики результатов испытаний модели № 10 (фиг. 178). Испытания производились с одним поплавком



1. Ширина модели на редане $B = 200$ мм
2. Длина носовой части $L_n = 4,28 B$
3. Длина кормовой части $L_m = 3,97 B$
4. Удлинение поплавка $\frac{L_n + L_m}{B} = 8,25$
5. Длина цилиндрической вставки $L_{ц} = 1,73 B$
6. Координаты центра тяжести $x_T = 0,42 B$
 $z_T = 2,295 B$
7. Высота редана по килю $h_1 = 0,0575 B$
по скуле $h'_1 = 0,1245 B$
8. Угол продольной килеватости $\gamma_2 = 6^\circ 25'$
9. Углы поперечной килеватости на редане
внутренний $\beta = \frac{30^\circ 00'}{23^\circ 00'}$
внешний $\beta' = \frac{17^\circ 00'}{15^\circ 00'}$
10. Полное водоизмещение поплавка $D = 28,50$ кг

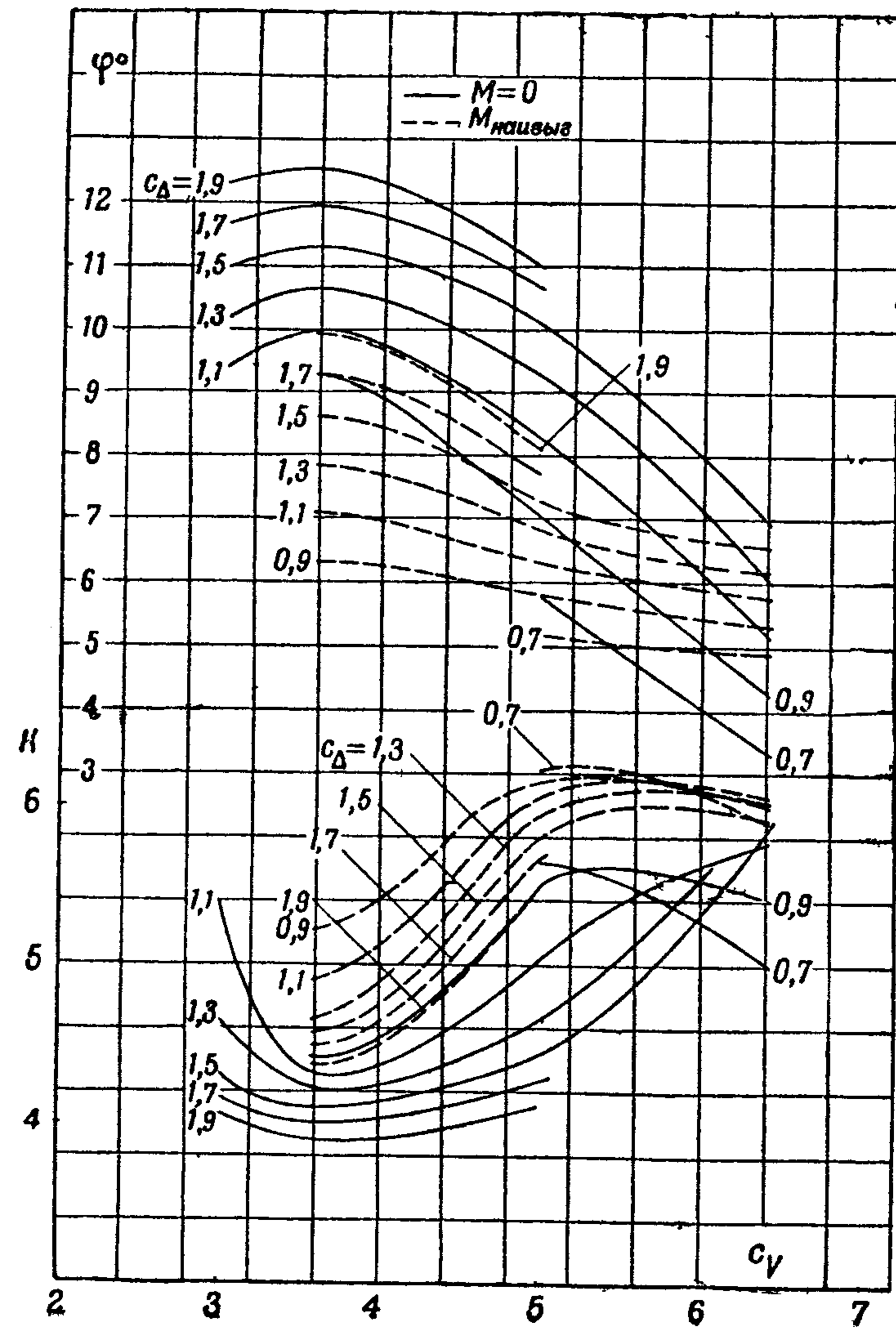


Фиг. 183. Теоретический чертёж модели № 11 (модели двухпоплавкового гидросамолета)

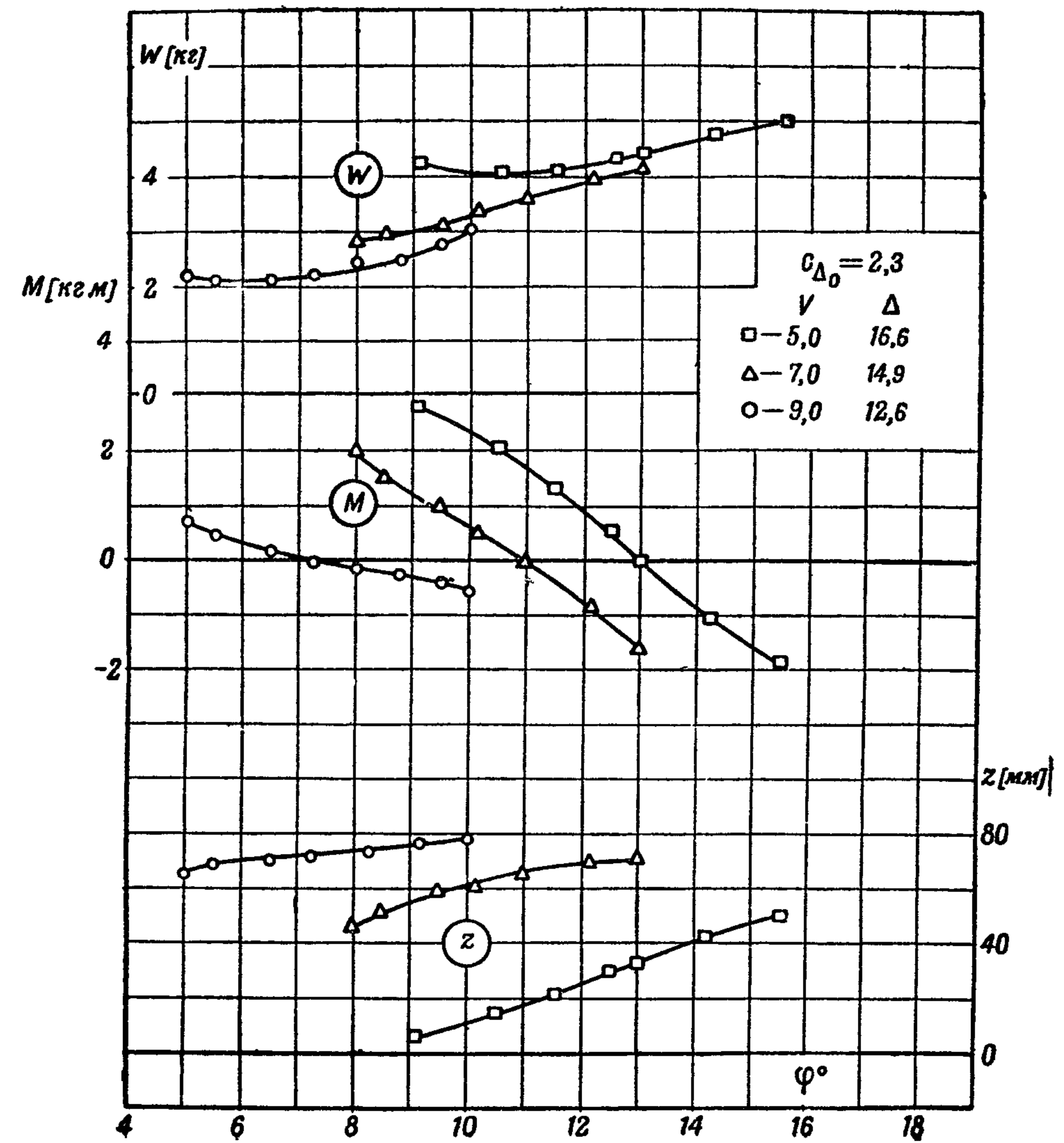
Таблица плазовых координат модели № 11 (фиг 183)

Таблица XXVII

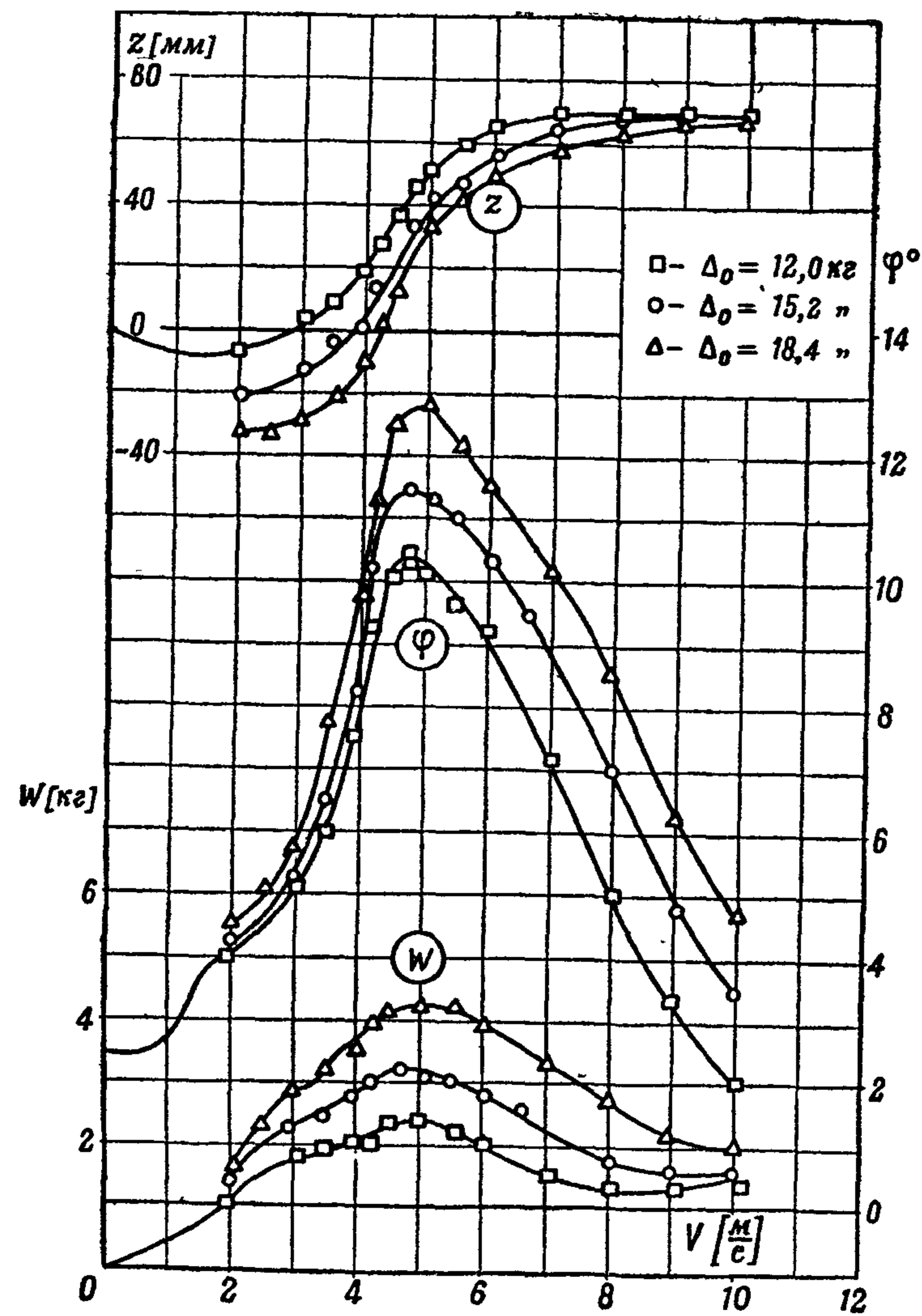
№ шп	Δl	l	$\frac{1}{2} B$	$\frac{1}{2} B_1$	h	r	A	a	a	R	R_1	H	a_1	a'	β	β	δ	δ_1	WL		BT		№ шп		
																			I-50	II-100	I-375	II-75			
11		859 3	0	—	144 5	0	—	144 5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11	
10	7 8	851 5	23 2	—	123 5	2 8	221 5	138 0	—	57 0	21 4	151,4	145 2	—	44°42	—	—	—	—	—	—	—	—	10	
9	19 2	832 3	41 0	—	98 8	3 7	193 1	123 8	—	51 7	38 5	157 1	136 3	—	43°54	—	—	—	—	—	2 9	122 9	—	9	
8	31 0	801 3	55 5	—	75 0	4 9	165 2	106 2	—	43 8	51 8	162 9	124 2	—	42°36	—	—	—	—	—	30 4	103 2	—	8	
7	63 0	738,3	73 8	—	45 2	7 6	126 8	81 6	—	31 2	67 1	170 2	104 7	—	40°00	—	—	—	—	—	8 2	—	73 9	—	7
6	63 0	675 3	85 2	36 4	26 9	10 1	101 0	63 2	48 2	22 2	76 5	173 4	85 6	52 1	37°30	37°30	112°00	112°00	—	38 6	—	48 8	68 0	6	
5	108 8	556 5	96 0	50 8	8 0	14 2	65 3	41 7	30 0	12 6	87 3	175 2	59 6	36 0	33°18	30°48	106°42	109°12	—	—	—	27 8	45 8	5	
4	111 8	444 7	99 5	58 2	0 8	16 8	45 0	31 8	19 8	9 0	92 3	175 2	43 9	25 9	30°48	24°42	105°12	111°18	—	—	—	16 2	29 4	4	
3	111 9	332 8	100 0	60 0	0	17 3	41 0	27 8	15 6	7 3	94 0	175 2	41 0	24 0	30°00	23°00	105°00	112°00	—	—	—	14 2	24 2	3	
2	111 8	221 0	100 0	60 0	0	17 3	41 0	27 8	15 6	7 3	94 0	175 2	41 0	24 0	30°00	23°00	105°00	112°00	—	—	—	14 2	24 2	2	
1	111 9	109 1	100 0	60 0	0	17 3	41 0	27 8	15 6	7 3	94 0	175 2	41 0	24 0	30°00	23°00	105°00	112°00	—	—	—	14 2	24 2	1	
0 _H	109 1	0	100 0	60 0	0	17 3	41 0	27 8	15 6	7 3	94 0	175 2	41 0	24 0	30°00	23°00	105°00	112°00	—	—	—	14 2	24 2	0 _H	
0 _K	0	0	98 2	—	11 5	2 2	54 0	45 6	—	167 2	94 0	175 2	53 0	—	23°00	—	—	—	—	—	—	—	—	0 _K	
1	103 4	103 4	93 8	—	21 8	2 2	79 2	70 5	—	177 2	91 2	175 2	75 0	—	30°00	—	—	—	—	—	—	—	—	1	
2	107 7	211 1	87 0	—	32 2	2 2	97 0	88 1	—	184 0	86 2	175 2	89 0	—	33°35	—	—	—	—	—	—	—	—	2	
3	111 9	323 0	79 2	—	43 2	2 2	114 2	99 3	—	—	77 8	175 2	99 7	—	35°34	—	—	—	—	—	—	—	—	3	
4	111 8	434 8	70 6	—	54 2	2 2	128 3	106 5	—	—	67 3	175 2	106 5	—	36°48	—	—	—	—	—	—	—	—	4	
5	125 9	560 7	58 0	—	66 2	2 2	145 3	112 2	—	—	51 5	175 2	112 2	—	38°32	—	—	—	—	—	—	—	—	5	
6	125 9	686 6	39 6	—	78 8	2 2	164 3	112 2	—	—	28 8	175 2	112 2	—	40°47	—	—	—	—	—	—	—	—	6	
7	63 0	749 6	24 0	—	84 9	2 2	173 4	106 6	—	—	13 2	175 2	106 6	—	41°45	—	—	—	—	—	—	—	—	7	
8	41 1	790 7	0	—	89 0	0	—	89 0	—	—	—	175 2 ¹	89 0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	



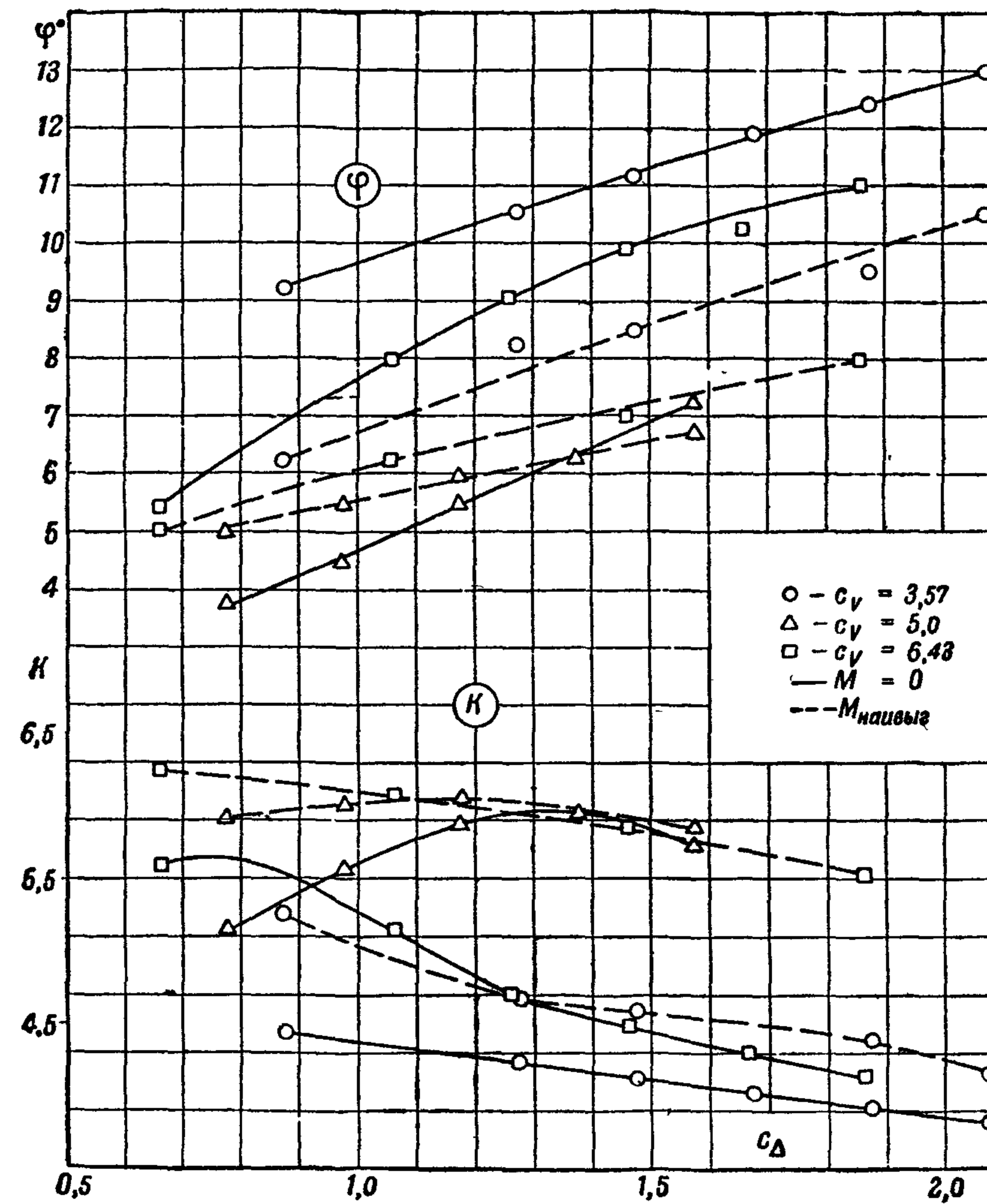
Фиг. 184



Фиг. 186

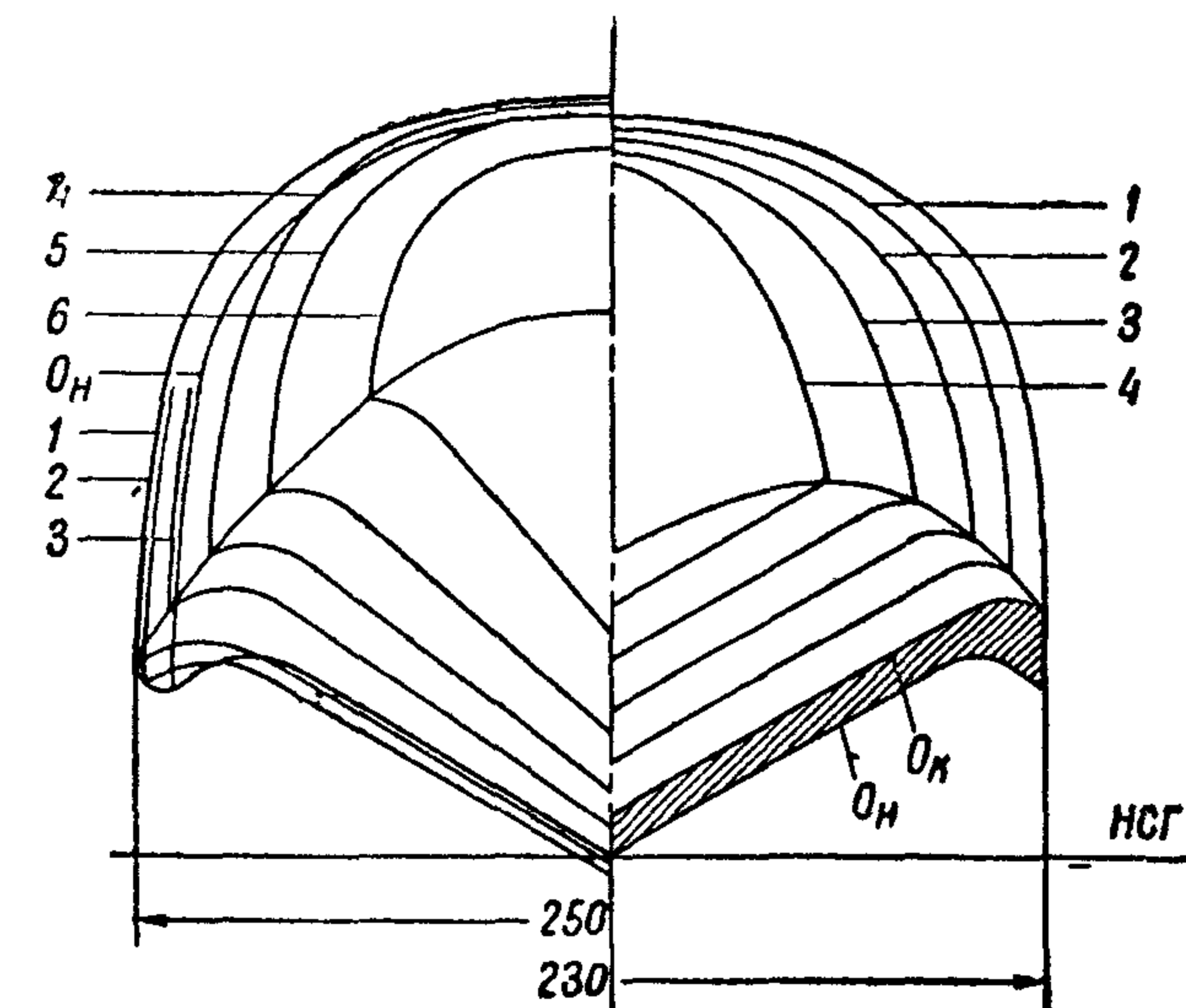
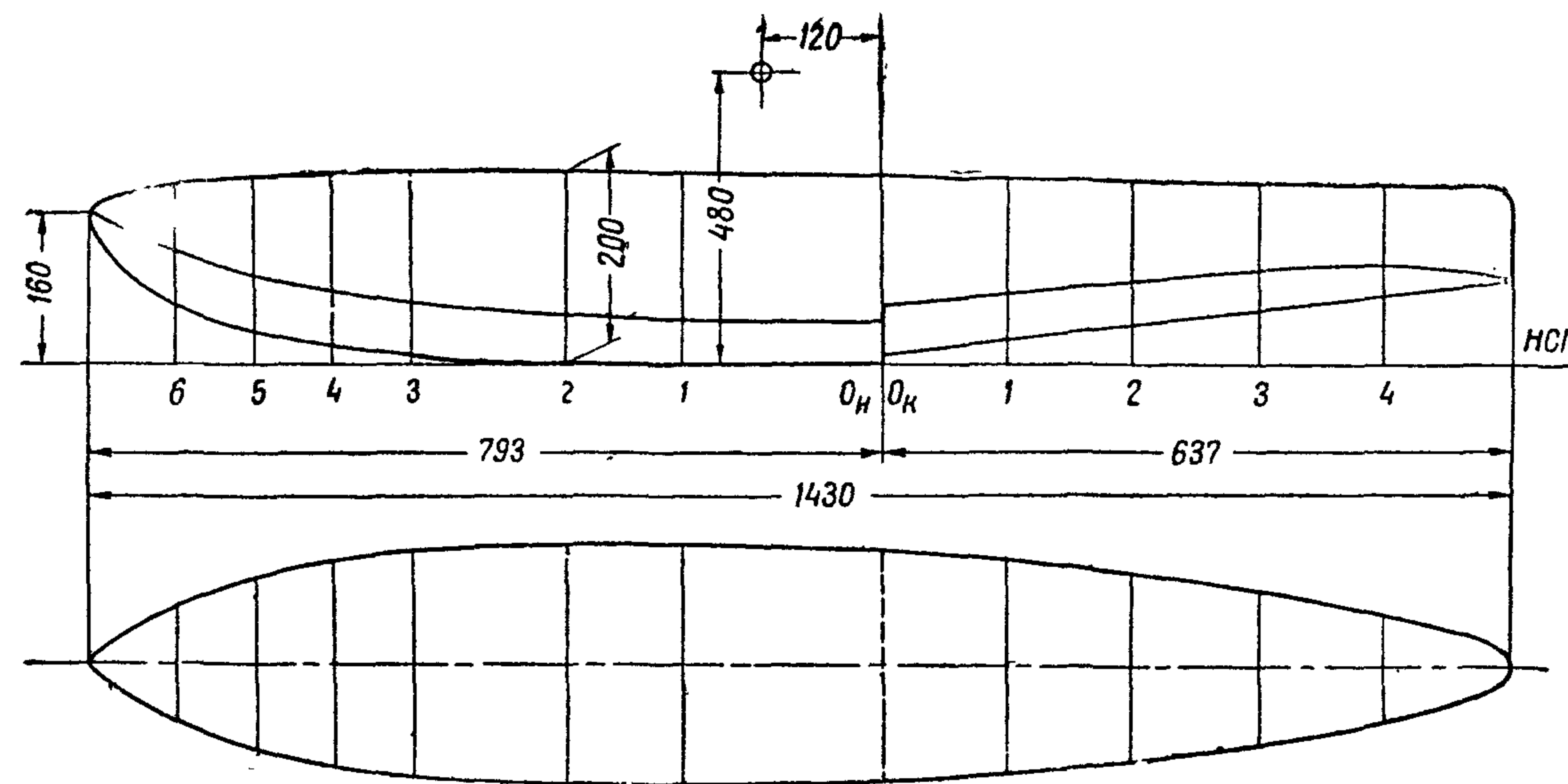


Фиг. 185

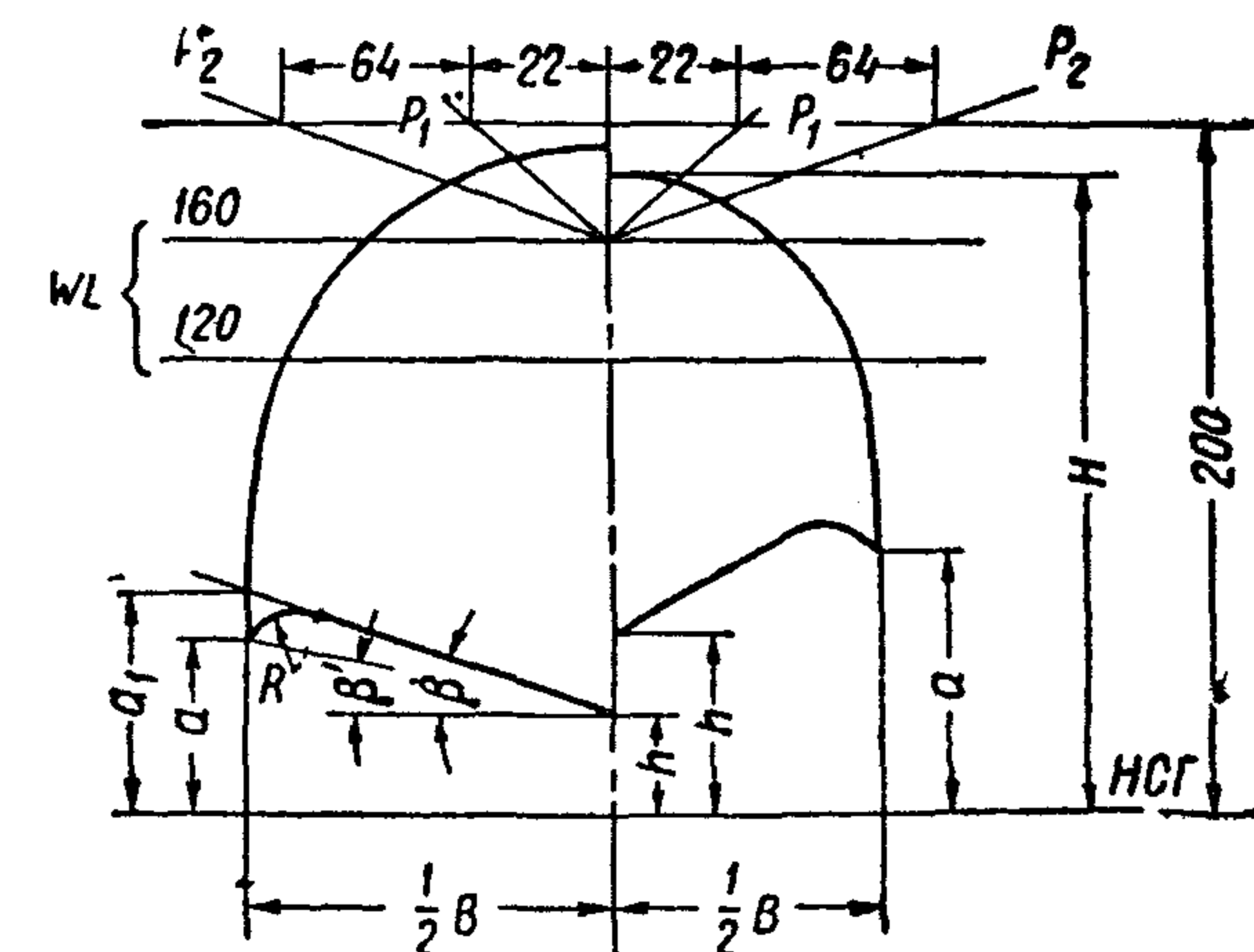


Фиг. 187

Фиг. 184—187. Графики результатов испытаний моделей № 11 (фиг. 183). Испытания производились с одним поплавком



1. Ширина модели на редане $B = 230$ мм
2. Длина носовой части $L_v = 3,45 B$
3. Длина кормовой части $L_m = 2,77 B$
4. Удлинение поплавка $\frac{L_v + L_m}{B} = 6,22$
5. Длина цилиндрической вставки $L_{\text{ц}} = 0$
6. Координаты центра тяжести $x_T = 0,521 B$
 $z_T = 2,08 B$
7. Высота редана: по килю $h_1 = 0,0435 B$
по скуле $h'_1 = 0,087 B$
8. Угол продольной килеватости
кормовой части $\gamma_2 = 7^\circ 15'$
9. Углы поперечной килеватости
на редане: внутренний $\beta = 30^\circ 00'$
внешний $\beta' = 21^\circ 00'$

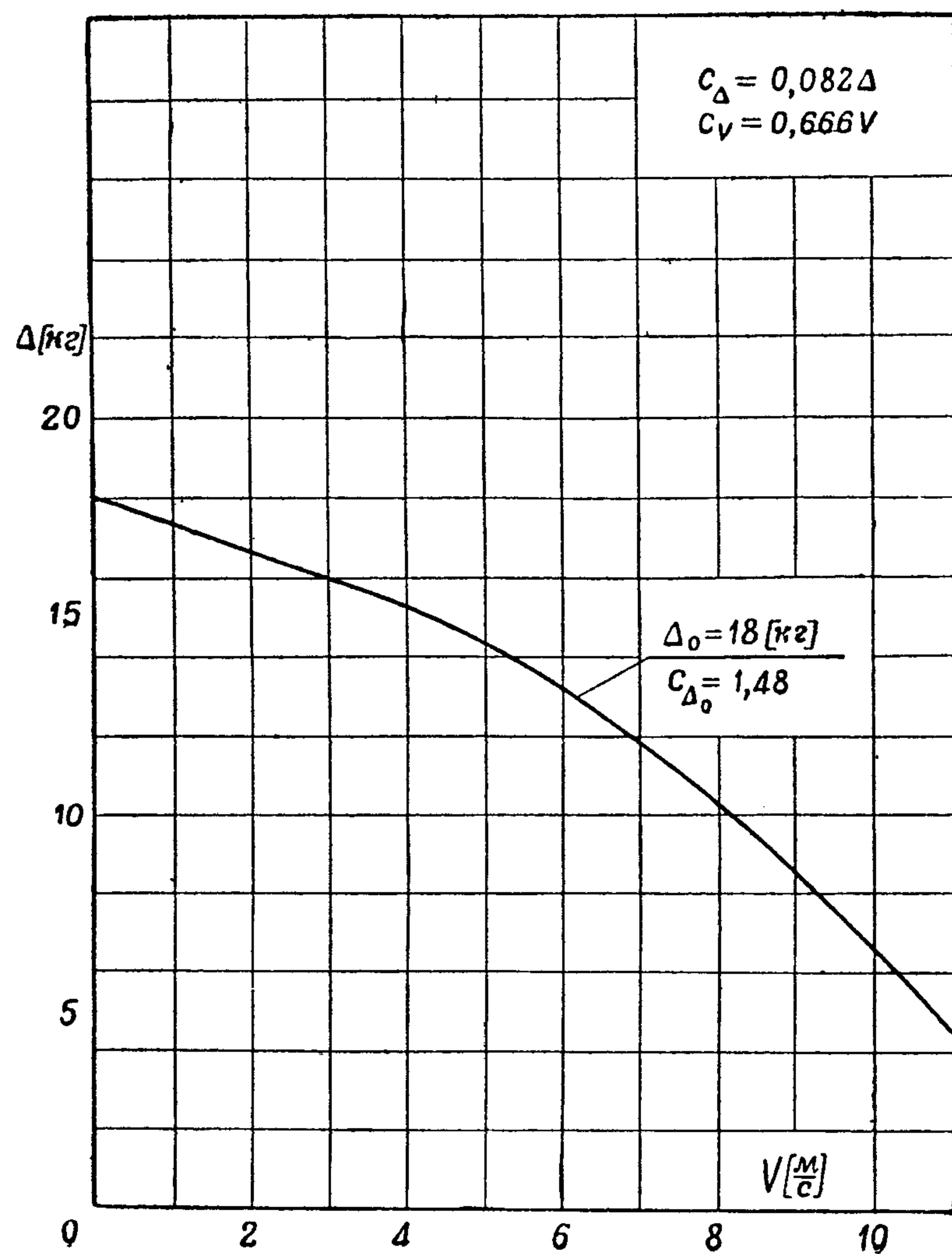


Фиг. 188. Теоретический чертёж модели № 12 (модели однопоплавкового гидросамолета)

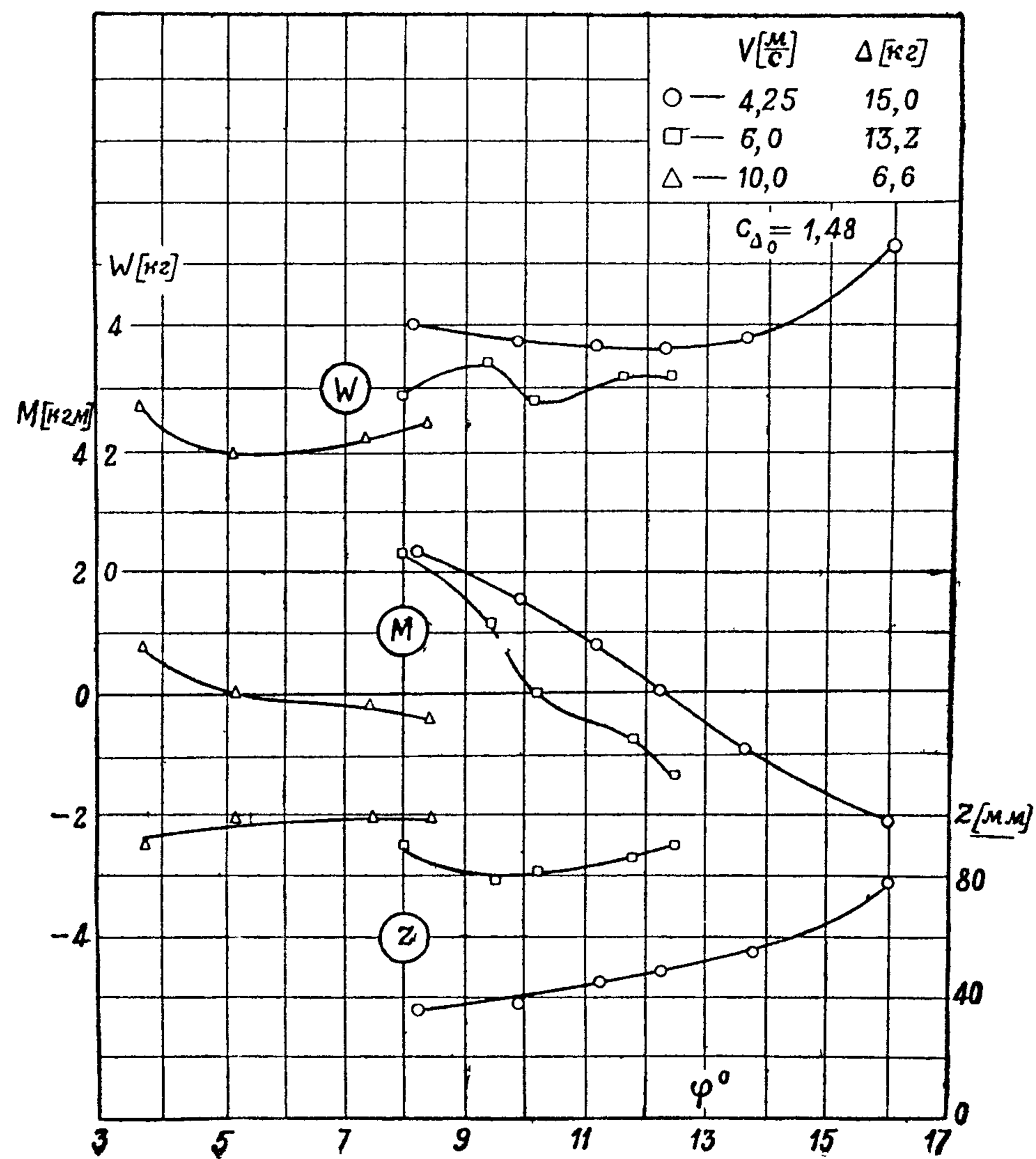
Таблица плазбвых координат модели № 12 (фиг. 188)

Таблица XXVIII

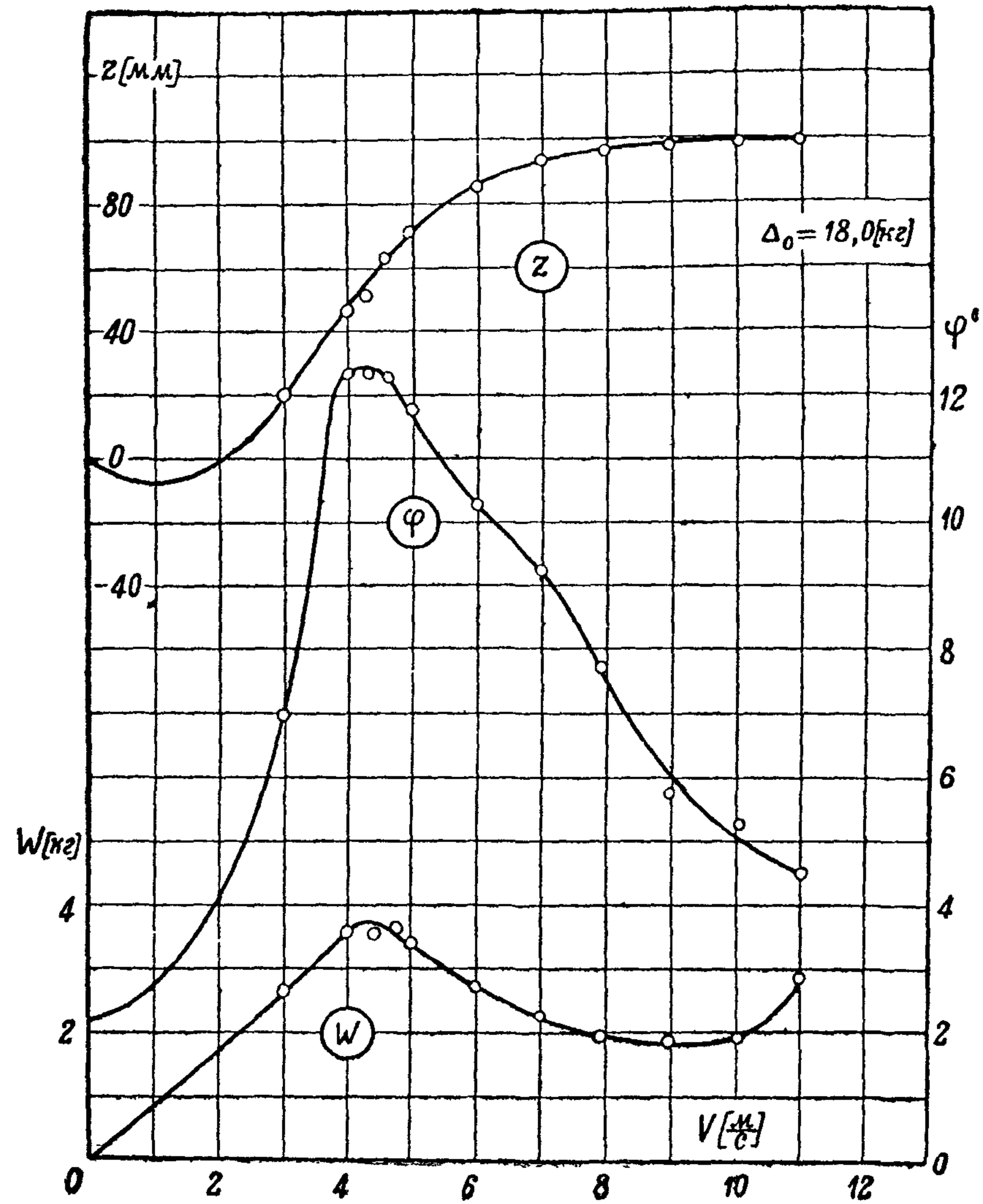
№ шп.	Δl	l	$\frac{1}{2} B$	h	a	R	H	a_1	β	β'	WL		P_1	P_2	№ шп.
											1—120	II—160			
7		793,0	0	160	160	—	—	160	—	—	—	—	—	—	7
6	88,3	704,7	64,0	59,0	120,0	21,5	188,5	131,0	48°18'	43°40'	64,0	55,0	31,5	41,5	6
5	78,3	626,4	91,5	32,0	94,0	21,5	195,5	110,0	40°28'	34°10'	88,5	76,0	40,0	53,5	5
4	78,3	548,1	107,5	18,0	77,5	21,5	198,0	96,0	35°57'	28°54'	10,32	89,5	43,0	60,0	4
3	78,3	469,8	117,5	9,0	65,5	21,5	199,0	85,0	32°49'	25°38'	112,5	98,5	44,7	63,5	3
2	156,6	313,2	125,0	1,5	50,5	21,5	200,0	70,0	29°44'	22°32'	119,0	104,0	45,5	64,5	2
1	156,6	156,6	122,0	3,0	44,5	21,5	198,8	62,5	28°09'	21°15'	117,0	100,5	44,0	62,2	1
0 _H	156,6	0	115,0	0	44,0	21,5	195,5	66,5	30°00'	21°00'	109,5	92,8	39,5	55,5	0 _H
0 _K	0	0	115,0	10,0	64,0	15,0	195,5	75,8	30°00'	25°15'	109,5	92,8	39,5	55,5	0 _K
1	127,4	127,4	106,5	24,0	73,5	15,0	192,5	85,5	30°00'	24°50'	101,0	83,5	36,0	49,5	1
2	127,4	254,8	96,5	38,0	82,5	15,0	189,5	93,0	30°00'	24°50'	89,5	70,5	32,5	43,5	2
3	127,4	382,2	79,5	51,5	92,5	15,0	187,5	97,0	30°00'	27°20'	74,5	54,5	28,7	36,0	3
4	127,4	509,6	56,5	66,0	98,0	—	184,5	98,0	30°00'	30°00'	51,5	34,0	23,0	25,5	4
5	127,4	637,0	0	81,2	81,2	—	181,8	81,2	—	—	—	—	—	—	5



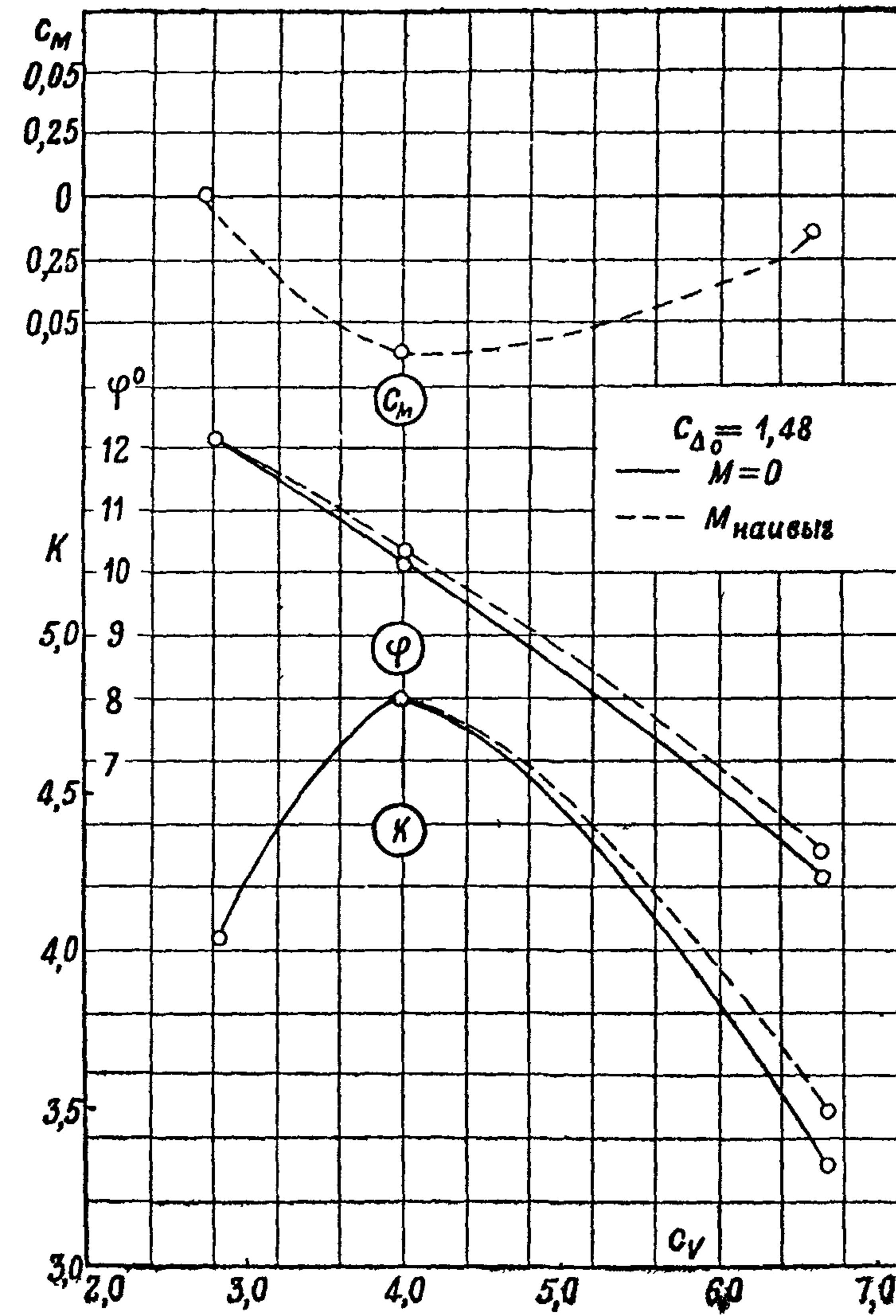
Фиг. 189



Фиг. 191

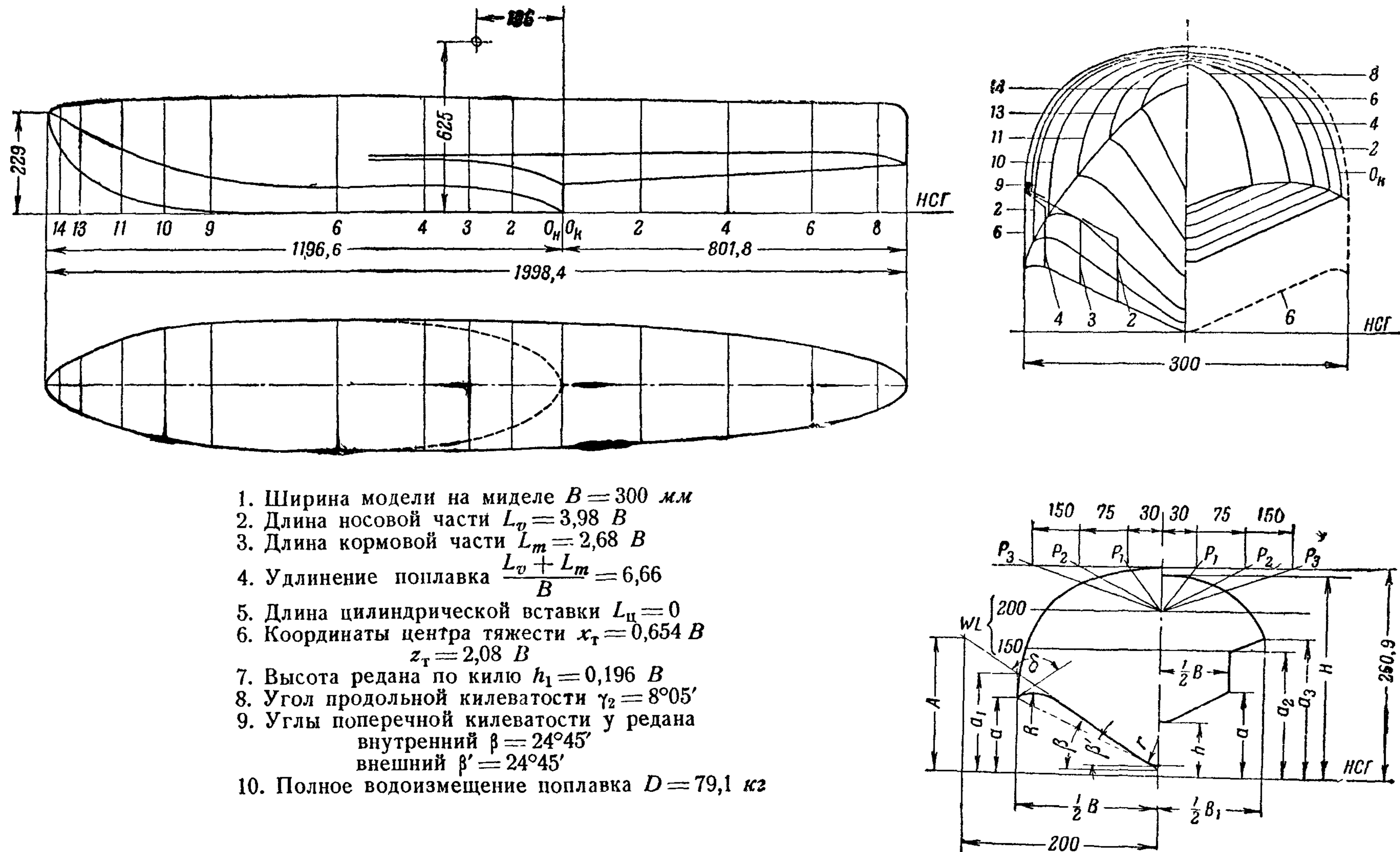


Фиг. 190



Фиг. 192

Фиг. 190 — 192 Графики результатов испытаний № 12 (фиг. 188)

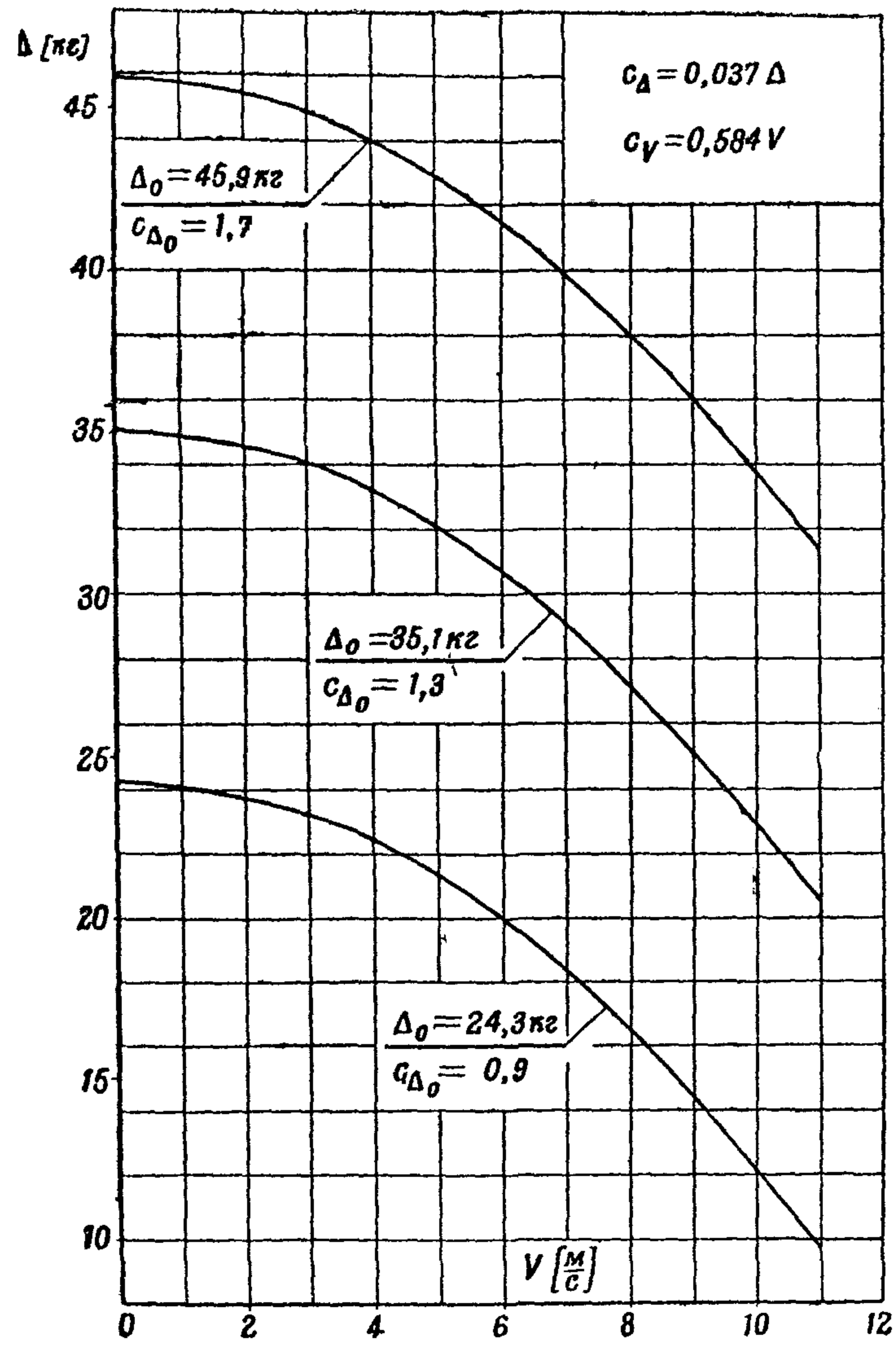


Фиг. 193. Теоретический чертёж модели № 13 (модели однопоплавкового гидросамолета)

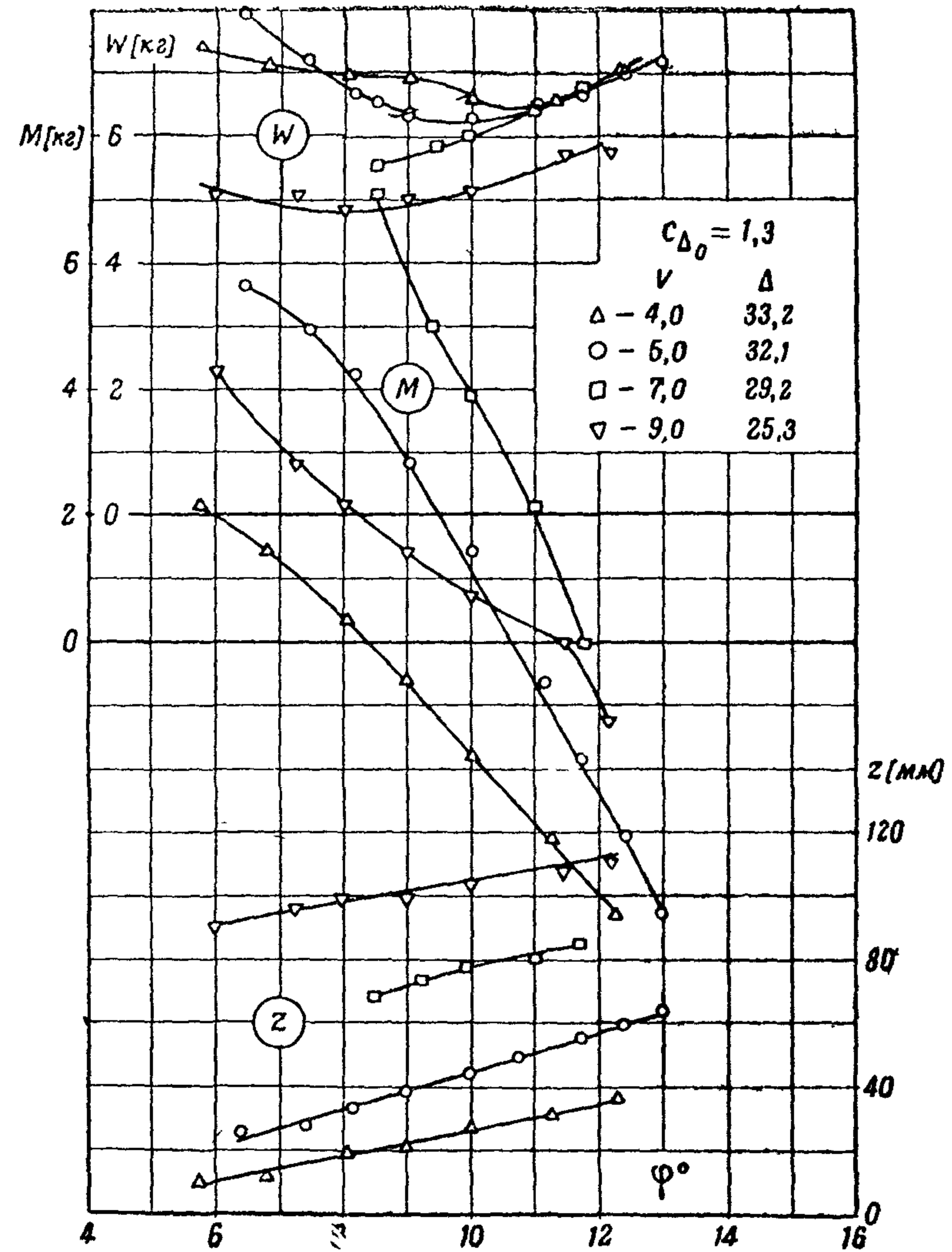
Таблица плазовых координат модели № 13 (фиг 193)

Таблица XXIX

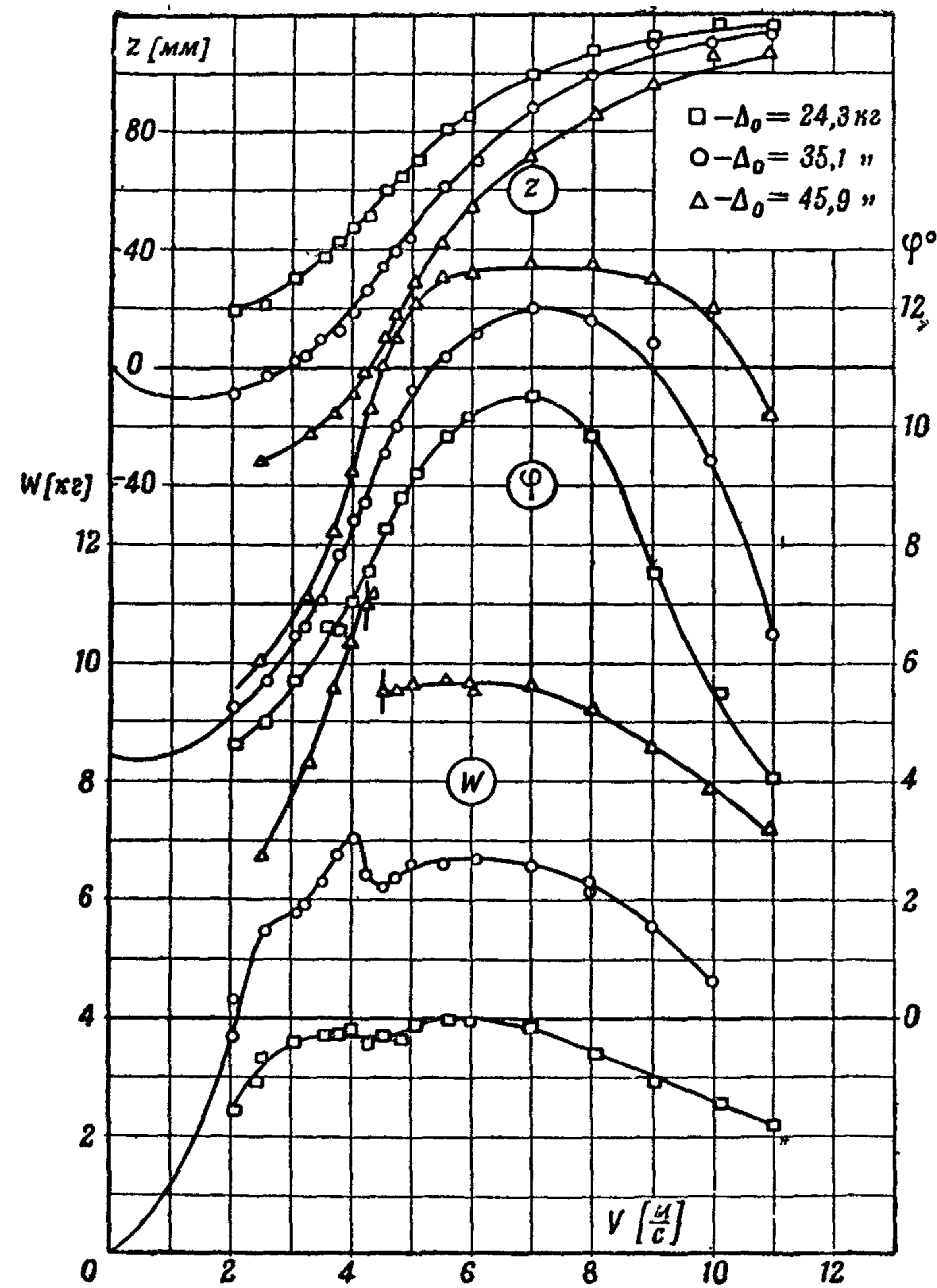
№ шп	Δl	l	$\frac{1}{2} B$	$\frac{1}{2} B_1$	h	r	A	a	R	a_3	a_2	H	a_1	β	β	δ	WL		P_1-30	P_2-75	P_3-150	№ шп
																	I-150	II-200				
15		1 196 6	—	—	229 0	—	—	229 0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15
14	27 8	1 168 8	35 0	—	142 5	—	569 1	211 6	70 1	—	—	243 0	217 1	64°53	63°05	—	—	—	40 0	38 0	36 7	14
13	50 0	1 118 8	66 2	—	90 6	—	409 0	183 8	58 7	—	—	247 2	196 1	57°52	55°19	—	—	60 0	45 6	48 5	52 2	13
12	50 0	1 068 8	89 4	—	59 2	—	320 6	159 2	47 6	—	—	250 3	176 2	52°35	48°13	—	—	77 0	50 4	58 3	65 6	12
11	100 0	1 018 8	107 7	—	38 3	—	259 3	138 0	38 2	—	—	252 7	157 2	47°51	42°48	—	—	105 9	91 2	54 5	65 6	11
10	100 0	918 8	132 5	—	14 9	13 3	186 3	103 9	26 8	—	—	256 2	124 2	40°36	35°00	—	—	127 4	111 2	60 6	75 9	10
9	100 0	818 8	144 9	—	4 8	23 2	140 4	79 8	21 4	—	—	258 4	98 0	34°09	28°28	117°30	—	138 2	122 6	63 6	80 2	9
8	100 0	718 8	149 4	—	0 8	27 1	111 4	63 9	19 6	—	—	259 8	79 2	28°56	23°48	124°04	—	144 1	129 1	65 4	84 0	8
7	100 0	618 8	150 0	—	0	27 9	96 9	55 2	19 6	—	—	260 8	69 1	25°51	20°50	127°09	—	145 8	131 0	66 8	86 2	7
6	100 0	518 8	150 0	150 0	0	27 9	92 2	55 9	19 6	—	—	260 9	66 2	24°45	21°10	128°15	—	146 2	131 2	66 9	86 4	6
5	100 0	418 8	148 7	150 0	0	27 9	92 2	58 2	19 6	123 6	117 0	260 0	66 2	24°45	21°55	128°15	—	145 9	131 2	66 1	85 2	5
4	100 0	318 8	142 6	149 8	0	27 9	92 2	60 4	19 6	124 3	116 1	259 1	66 0	24°45	23°05	—	—	145 9	131 2	65 2	84 8	4
3	100 0	218 8	128 7	149 5	0	27 9	92 2	63 6	19 6	124 8	112 7	257 8	65 5	24°45	24°45	—	—	145 3	130 0	63 9	83 2	3
2	100 0	118 8	99 1	148 7	0	27 9	92 2	43 6	—	125 3	101 4	256 7	—	24°45	24°45	—	—	144 4	129 4	62 2	81 3	2
1	18 8	18 8	32 5	145 3	0	27 9	92 2	13 0	—	124 6	71 1	255 5	—	24°45	24°45	—	—	142 0	127 8	60 9	79 0	1
0 _н	0	0	0	143 1	0	27 9	92 2	0	—	125 2	58 8	—	—	24°45	24°45	—	—	141 2	125 4	60 0	78 8	0 _н
0 _к	81 2	0	—	143 1	58 8	20 9	—	—	—	125 2	—	—	—	24°45	24°45	—	—	141 2	125 4	60 0	78 8	0 _к
1	100 0	81 2	—	140 2	64 2	20 9	—	—	—	128 2	—	254 4	—	24°45	24°45	—	—	137 2	122 4	59 1	76 0	1
2	100 0	181 2	—	133 8	71 0	20 9	—	—	—	132 1	—	253 2	—	24°45	24°45	—	—	130 5	115 5	57 4	72 7	2
3	100 0	281 2	—	126 0	77 9	20 9	—	—	—	135 0	—	252 1	—	24°45	24°45	—	—	122 4	106 8	55 7	69 1	3
4	100 0	381 2	—	116 2	84 6	20 9	—	—	—	137 4	—	251 0	—	24°45	24°45	—	—	122 8	96 6	53 8	65 1	4
5	100 0	481 2	—	103 7	91 2	16 8	—	—	—	138 6	—	249 8	—	24°45	24°45	—	—	100 5	84 8	51 8	60 6	5
6	100 0	581 2	—	87 9	98 0	8 8	—	—	—	138 6	—	248 6	—	24°45	24°45	—	—	84 8	70 2	48 8	54 1	6
7	100 0	681 2	—	66 8	104 6	—	—	—	—	136 5	—	247 5	—	24°45	24°45	—	—	63 7	49 8	43 2	42 8	7
8	50 0	731 2	—	52 4	108 3	—	—	—	—	133 3	—	246 9	—	24°45	24°45	—	—	49 8	36 9	33 8	33 8	8
9	50 0	781 2	—	29 0	111 5	—	—	—	—	125 6	—	241 2	—	24°45	24°45	—	—	27 2	19 9	26 7	21 0	9
10	20 6	801 8	—	0	114 1	—	—	—	—	114 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10



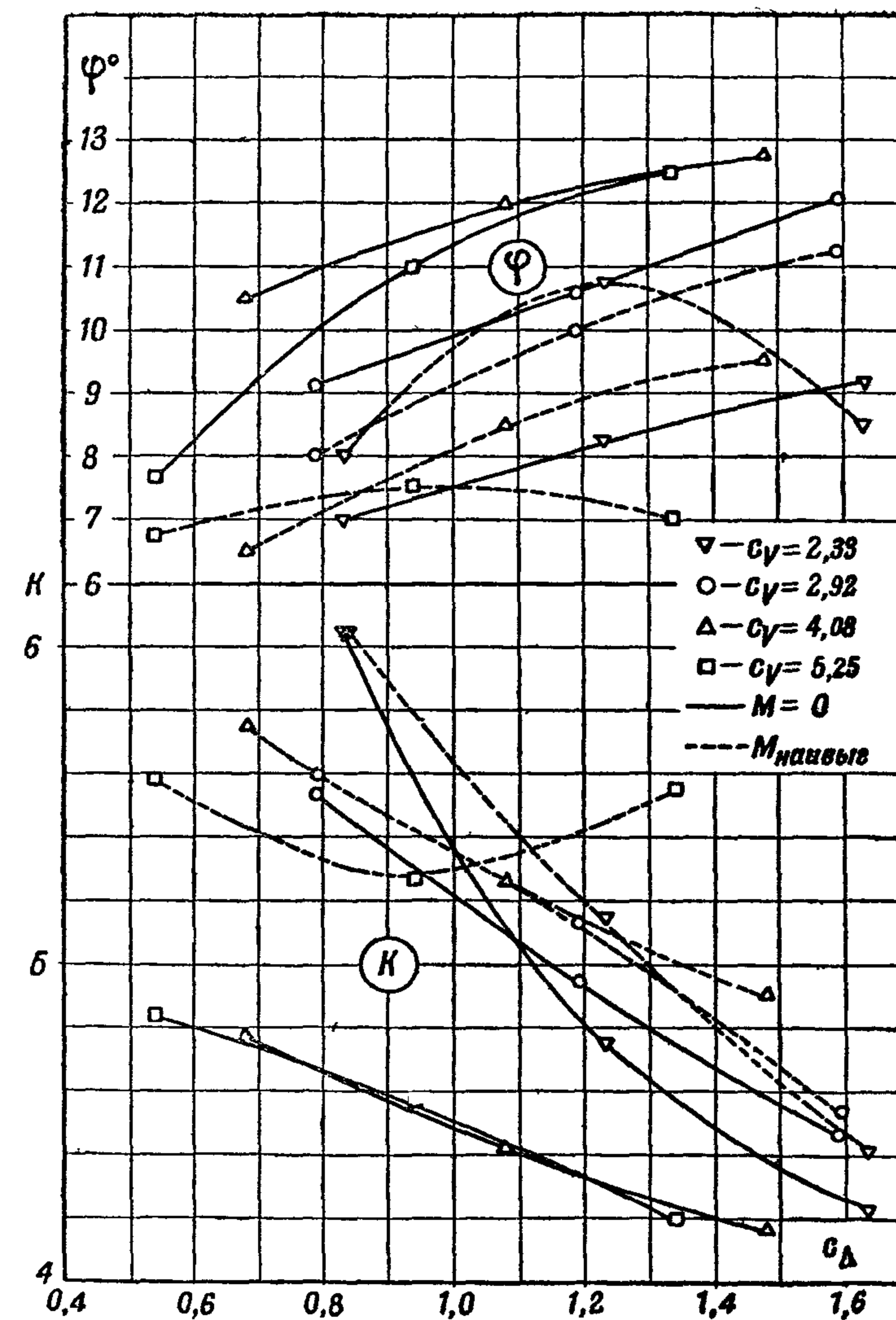
Фиг. 194



Фиг. 196

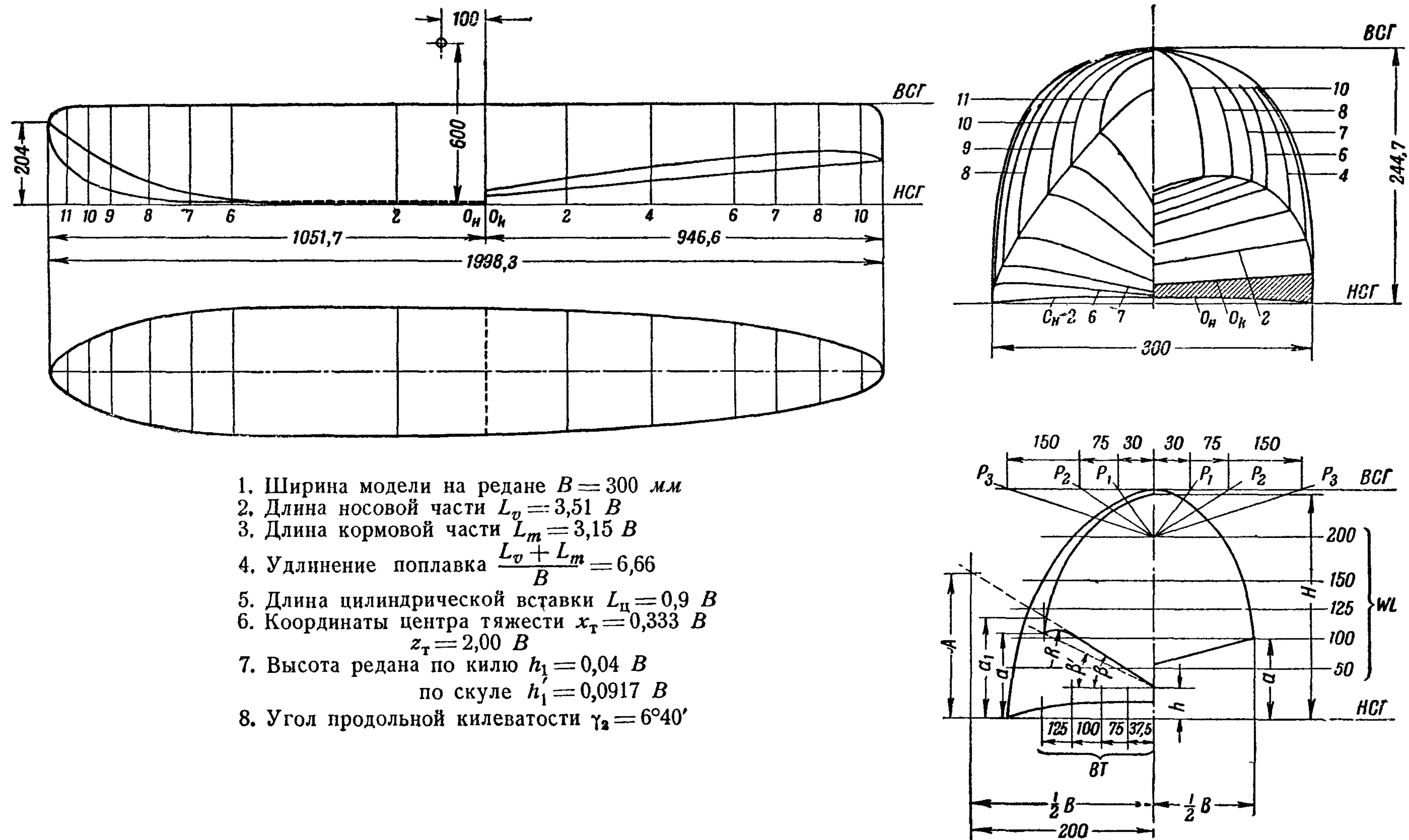


Фиг. 195



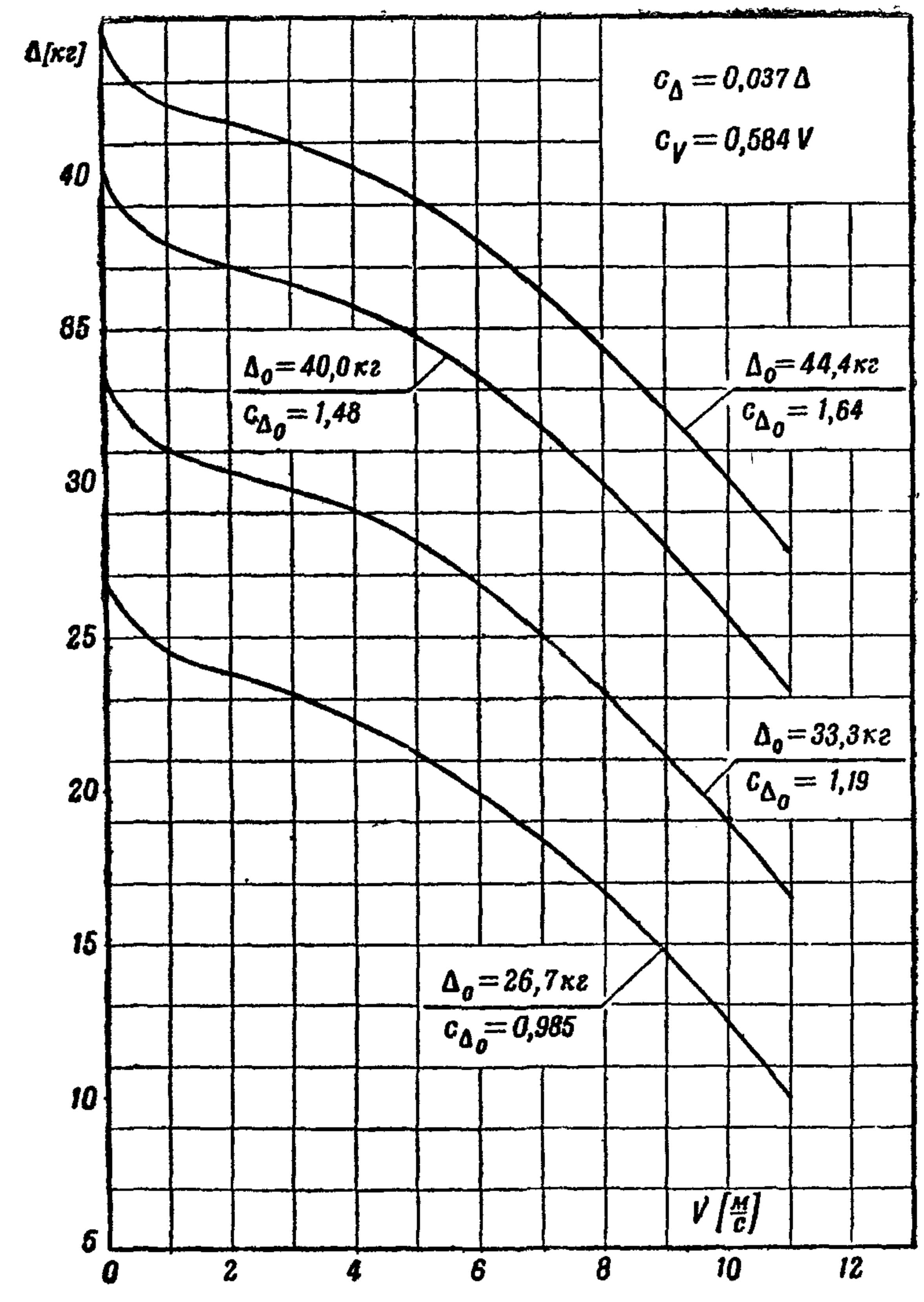
Фиг. 197

Фиг. 195 — 197. Графики результатов испытаний модели № 13 (фиг. 193)

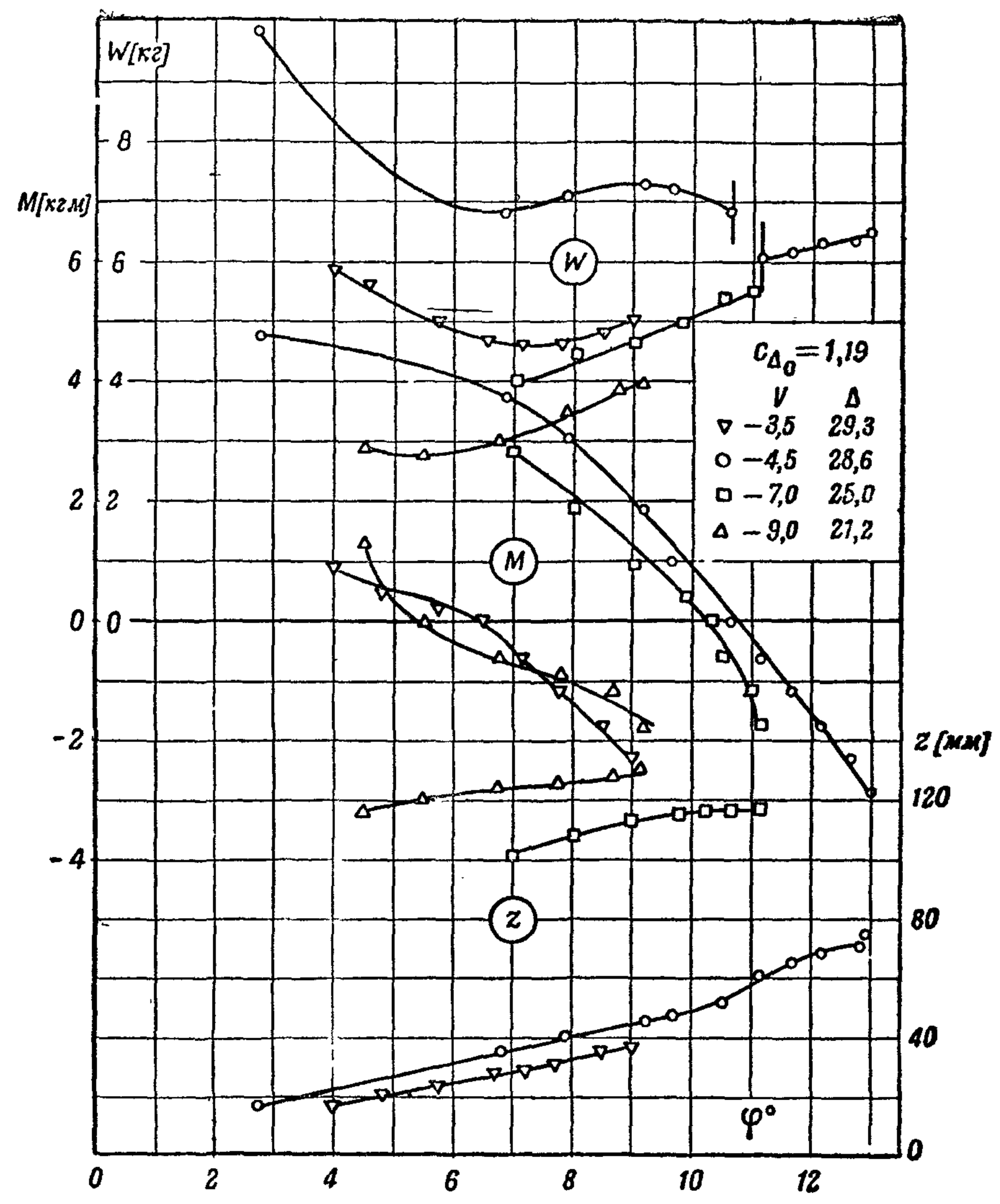


1. Ширина модели на редане $B = 300$ мм
2. Длина носовой части $L_v = 3,51 B$
3. Длина кормовой части $L_m = 3,15 B$
4. Удлинение поплавка $\frac{L_v + L_m}{B} = 6,66$
5. Длина цилиндрической вставки $L_{\text{ц}} = 0,9 B$
6. Координаты центра тяжести $x_T = 0,333 B$
 $z_T = 2,00 B$
7. Высота редана по килю $h_1 = 0,04 B$
по скуле $h_1' = 0,0917 B$
8. Угол продольной килеватости $\gamma_2 = 6^\circ 40'$

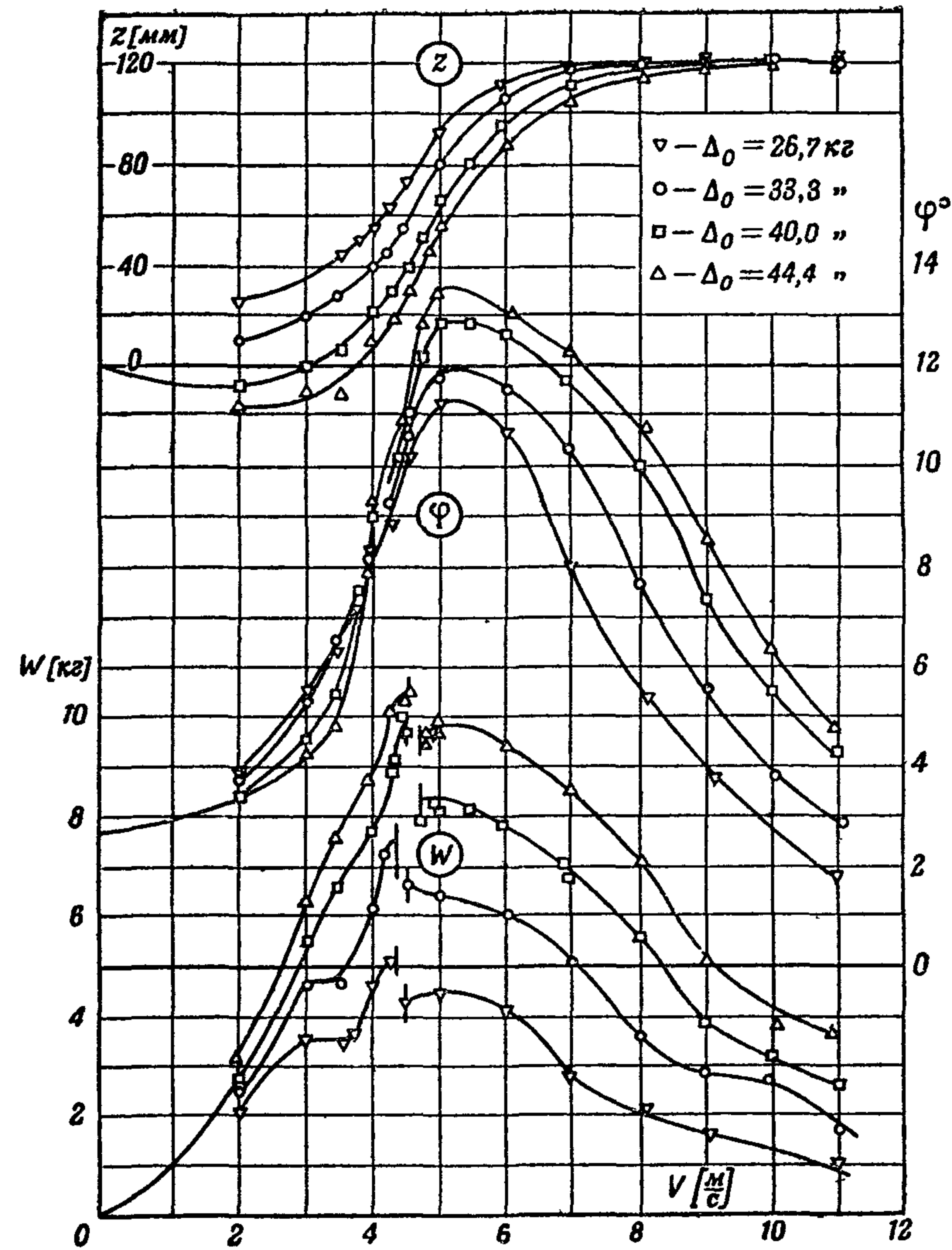
Фиг. 198. Теоретический чертеж модели № 14 (модели однопоплавкового гидросамолета)



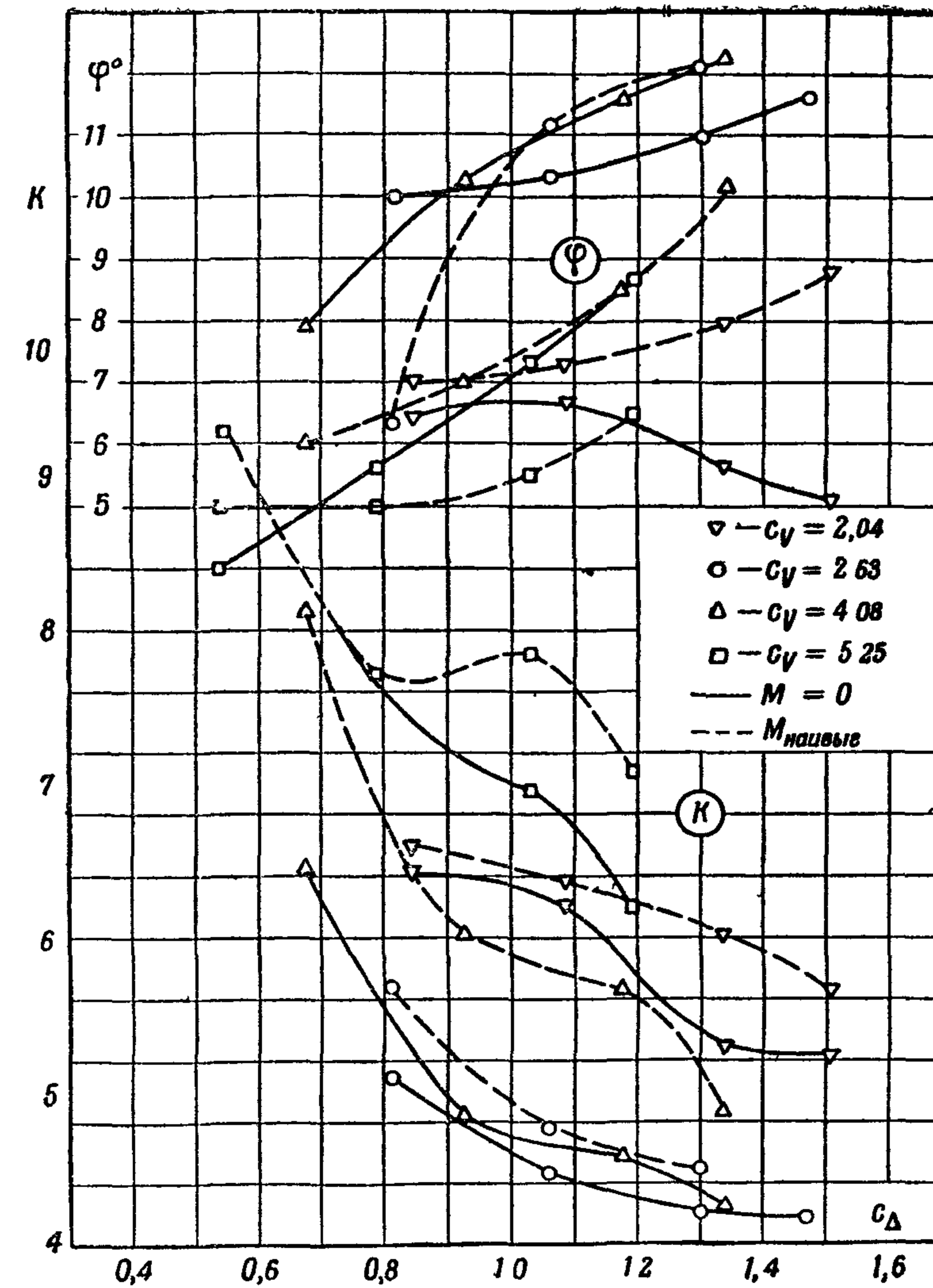
Фиг. 199



Фиг. 201



Фиг 200



Фиг 202

Фиг 200 — 202 Графики результатов испытания модели № 14 (фиг 198)

ТАБЛИЦЫ К АТЛАСУ МОДЕЛЕЙ ГИДРОСАМОЛЕТОВ

Таблица XXXI

Модель № 1

M	c _v	c _Δ K φ	05	06	07	08	09	10	11	12
			M=0	3	K φ	—	—	—	4 65 9°20	4 53 9°42
4	K φ	—		5 02 8°25	4 96 8°40	4 82 8°50	4 79 9°12	4 68 9°42	4 30 10°30	— —
5	K φ	4 56 8°27		4 93 8°36	4 96 8°40	4 88 8°42	4 88 8°40	4 82 8°55	— —	— —
6	K φ	4 67 7°40		5 02 8°00	4 96 8°10	4 60 8°25	— —	— —	— —	— —

Таблица XXXII

Модель № 2

c _v	c _{Δ0} = 0 843					c _{Δ0} = 0 99		
	M = 0			M _{наивыг}		M = 0		
	c _Δ	K	φ	K	φ	c _Δ	K	φ
2	0 807	6 2	7°12	—	—	0 95	6 38	4°28
3	0 75	4 5	10°10	—	—	0 85	4 5	10°32
4	0 68	4 94	9°15	5 7	6°48	0 825	4 74	10°06
5	0 59	4 7	8°	5 7	5°20	0 732	5 21	8°37
6	—	3 66	6°42	—	—	—	—	—

Таблица XXXIII

Модель № 3

c _v	c _{Δ0} = 0 9					c _{Δ0} = 1 2				
	M = 0			M _{наивыг}		M = 0			M _{наивыг}	
	c _Δ	K	φ	K	φ	c _Δ	K	φ	K	φ
2	0 85	7 2	5°24	—	—	1 15	6 3	5°12	—	—
3	0 785	5 02	9°05	5 1	7°05	1 09	4 3	10°15	4 88	8°24
4	0 692	6 03	7°40	6 22	5°46	0 993	5 06	9°10	5 40	8°10
5	0 577	6 55	5°24	6 6	5°06	0 87	5 93	7°05	6 02	6°42

Таблица XXXIV

Модель № 4

M	c _v	c _Δ K, φ	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
			M=0	3	K φ	— —	— —	5,77 7°36'	5,74 8°00'	5,58 8°20'	5,27 8°35'
4	K φ	— —		6,10 6°50'	6,02 7°23'	5,80 7°57'	5,59 8°30'	5,39 8°55'	5,26 9°18'	5,18 9°35'	5,12 9°50'
5	K φ	6,30 5°50'		6,44 6°03'	6,37 6°25'	6,06 6°57'	5,60 7°22'	5,62 7°45'	5,52 8°00'	5,60 8°20'	— —
6	K φ	6,63 5°15'		6,77 5°25'	6,88 5°40'	6,88 6°05'	6,90 6°24'	6,74 6°36'	— —	— —	— —
M _{наивыг}	3	K φ	— —	— —	5,80 7°40'	5,76 8°05'	5,70 8°18'	5,64 8°37'	5,57 8°50'	5,44 9°06'	5,30 9°20'
	4	K φ	— —	6,10 6°50'	6,04 7°05'	5,90 7°15'	5,78 7°20'	5,68 7°33'	5,54 7°50'	5,40 8°05'	— —
	5	K φ	— —	6,46 6°15'	6,42 6°10'	6,28 6°10'	6,12 6°08'	5,98 6°06'	5,88 6°10'	5,82 6°20'	— —

Таблица XXXV

Модель № 5

	c _v	c _Δ K, φ, c _M	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
			M=0	3	K φ	5,63 6°54'	5,87 7°06'	5,71 7°48'
4	K φ	5,29 8°18'		5,63 8°39'	5,54 9°00'	5,40 9°21'	5,15 9°45'	4,87 10°25'
5	K φ	4,73 8°12'		5,17 8°53'	5,25 9°18'	5,19 9°30'	5,06 9°45'	4,80 10°30'
M _{наивыг}	3	K φ c _M	— — —	5,92 6°42' 0,06	5,7 7°18' 0,10	5,43 8°45' 0,22	5,22 9°00' 0,27	5,00 9°06' 0,31
	4	K φ c _M	6,32 6°42' 0,21	6,07 6°48' 0,14	5,83 6°57' 0,34	5,63 7°39' 0,61	5,44 8°06' 0,90	5,23 7°45' 1,22
	5	K φ c _M	4,95 6°12' 0,08	5,61 6°17' 0,12	5,98 6°42' 0,17	6,00 7°18' 0,23	5,81 7°18' 0,36	5,59 6°45' 0,70

Таблица XXXVI

Модель № 6

M	c _v	c _Δ		03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
		K _φ												
M=0	2	K _φ	—	—	6,42 7°00	6 00 7°53	5 57 8°36	5 32 9°35	5 03 10°30	5 00 11°15	4,90 11°30	4 70 12°00	4 54 12°22	
	3	K _φ	—	5 40 8°15	5 08 9°10	4 78 10°00	4 57 10 51	4 43 11 42	4 33 12°15	4 10 13°03	3 84 13°20	3 72 14°18	3 60 14°53'	
	4	K _φ	5 71 6°45	5 24 8°15	4 92 9°20	4 68 10°10	4 60 10°48	4 57 11°15'	4 45 11 45	4 30 12°23	4 18 12°44	4 07 13°09	—	—
	5	K _φ	5 84 4 57'	5 92 6°25	5 75 7°40	5 47 8°50	6 17 9 36	4 94 10°10'	4 70 10°50	4 56 11°15	4 43 11°15	—	—	—
M _{наиб}	3	K _φ	—	6 57 5°48	6 40 6°22	6 15 6°51	5 95 7°18	5 68 7°35'	5 55 8°00	5 40 8°30	5 22 9°15	—	—	—
	4	K _φ	6 08 5°30'	6 16 5°35'	6 20 5°39'	6 14 5°40	6 06 5°40	5 88 5°42'	5 73 5°45	5 54 6°20	5 40 7°20	—	—	—
		K _φ	6 03 5°27'	6 24 5 30'	6 50 5°39'	6 52 5°48'	6 10 6°00'	5 66 6°45'	5 46 6°45	5 28 7°45	—	—	—	—

Таблица XXXVII

Модель № 7

M	c	c _Δ		10	1,1	12	13	14	15	16	17	18	19
		K _φ											
M=0	3	K _φ	—	—	—	—	—	5 37 7°07	5 28 7 18	5 16 7°30'	5 04 7°40	4 97 7°54	4 93 8°09
	4	K _φ	—	—	4 24 9°30'	4 23 9°47	4 22 10°08	4 20 10°25	4 16 10°42	4 12 11°02	4 05 11°26	3 98 11°37	
	5	K _φ	4 42 8°30	4 52 8°45'	4 47 9 03	4 42 9°26	4 37 9°39	4 31 9 57'	4 25 10°15	4 19 10°33	4 13 10°51	4 06 11°10	
	6	K _φ	4 64 7°51'	4 62 8°06'	4 58 8°21	4 53 8 40	4 47 8 54	4 15 9°12	4 08 9°58	—	—	—	—
M _{наиб}	4	K _φ	—	—	4 30 8°38	4 36 8°45	4 33 8°50	4 32 8°55	4 30 9°03	4 24 9 07	4 20 9 17	4 17 9°22	
	5	K _φ	4 42 8°45	4 58 8°37	4 61 8°33	4 57 8 30'	4 50 8°30	4 43 8°32'	4 38 8 33	4 32 8°35'	4 28 8°36'	4 23 8°39	
	6	K _φ	4 70 7°35'	4 77 7°39'	4 82 7°40'	4 85 7°45	4 76 7°50'	4 77 7°25'	4 72 7°27	—	—	—	—

Таблица XXXVIII

Модель № 8

	c_V	c_Δ K, φ	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
			$M_{\text{наиб}} = 0$	3	K φ	3,84 9°06'	4,06 9°09'
4	K φ	3,87 8°54'		4,12 9°03'	4,05 9°33'	3,79 10°18'	3,80 10°47'
5	K φ	3,86 8°38'		4,15 8°15'	3,98 9°30'	3,73 10°08'	3,76 10°33'
6	K φ	3,72 8°12'		4,09 8°36'	3,80 9°12'	3,66 9°48'	3,69 10°15'

Таблица XXXIX

Модель № 9

M	c_V	c_Δ K, φ	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
$M = 0$	3	K φ	— —	— —	— —	— —	5,03 8°30'	4,95 8°50'	4,88 9°10'	4,82 9°27'	4,76 9°45'	4,70 10°00'
	4	K φ	— —	— —	4,27 9°06'	4,29 9°30'	4,31 9°48'	4,31 10°03'	4,24 10°21'	4,21 10°38'	4,16 10°53'	4,12 11°09'
	5	K φ	4,77 7°00'	4,69 7°40'	4,63 8°05'	4,57 8°22'	4,52 8°40'	4,48 8°55'	4,45 9°12'	4,42 9°30'	4,39 9°45'	4,37 10°06'
	6	K φ	4,55 5°30'	4,64 6°00'	4,74 6°27'	4,77 6°48'	4,80 7°15'	4,81 7°37'	4,78 8°00'	— —	— —	— —
$M_{\text{наиб}}$	4	K φ	— —	— —	4,83 7°21'	4,79 7°45'	4,77 8°02'	4,74 8°20'	4,72 8°39'	4,65 9°00'	4,55 9°18'	4,45 9°42'
	5	K φ	4,77 6°15'	4,89 6°18'	5,01 6°25'	5,11 6°35'	5,18 6°42'	5,19 6°53'	5,11 7°05'	5,00 7°18'	4,86 7°33'	4,71 7°50'
	6	K φ	4,90 6°00'	5,02 6°15'	5,11 6°27'	5,20 6°40'	5,26 6°24'	5,32 7°09'	5,36 7°15'	— —	— —	— —

Таблица XL

Модель № 10

M	c _V	c _Δ		1,0	11	12	13	14	15	16	1,7	18	1,9
		K _φ											
M=0	3	K _φ	—	—	—	—	5 00 8°55'	4 93 9°15'	4 85 9 37	4 74 9°57'	4 68 10°17'	4 61 10°35'	4 54 10°51'
	4	K _φ	—	—	4 34 9 57	4 32 10°18'	4 28 10°37'	4 24 10°57'	4 20 11°12'	4 14 11°30'	4 10 11°48'	4 02 12°10'	
	5	K _φ	5 42 7°15'	5,48 7°36'	5,46 7°57'	5 40 8°18'	5 29 8°40'	5 14 9°00'	4 96 9°20'	4 76 9°40'	4 57 10°00'	4 37 10°20'	
	6	K _φ	5 42 5°15'	5 73 5°36'	5 84 5°57'	5 84 6°17'	5 80 6°35'	5 71 6°54'	5,70 7°33'	—	—	—	
M _{наиб}	4	K _φ	—	—	5 00 7°40'	4 96 7°55'	4 93 8°06'	4 86 8°21'	4 79 8°36'	4 72 8°50'	4 62 9°03'	4 49 9°18'	
	5	K _φ	5 80 6°15'	5 89 6°30'	5 93 6°40'	5,94 6°51'	5 91 7°03'	5 76 7°12'	5 56 7°24'	5,36 7°36'	5 15 7°45'	4 95 7°57'	
	6	K _φ	5 72 5°30'	5 91 5°42'	6 00 5°48'	6 03 6°00'	5 98 6°08'	5 90 6°18'	5 77 6°25'	—	—	—	

Таблица XLI

Модель № 11

M	c _V	c _Δ		07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
		K _φ														
M=0	3	K _φ	—	—	—	—	—	5 40 9°21'	4 96 9°45'	4 66 10°10'	4 45 10°33'	4 32 10°57'	4 24 11°18'	4 17 11°40'	4 12 11°58'	4 07 12°18'
	4	K _φ	—	—	4 45 8°53'	4 38 9°20'	4 30 9°45'	4 27 10°03'	4 22 10°27'	4 17 10°48'	4 11 11°09'	4 17 11°25'	4 12 11°47'	3 95 12°00'	3 89 12°18'	
	5	K _φ	5 64 5°45'	5 62 6°25'	5 49 7°03'	5 28 7°39'	5 06 8°15'	4 83 8°45'	4 64 9°15'	4 54 9°40'	4 44 10°05'	4 35 10°24'	4 26 10°39'	4 17 10°51'	4 10 11°00'	
	6	K _φ	5 27 4°03'	5 40 4°35'	5 54 5°03'	5 58 5°36'	5 62 6°09'	5 63 6°40'	5 54 7°07'	5 42 7°35'	5 32 7°57'	5 18 8°25'	—	—	—	
M _{наиб}	4	K _φ	—	—	5 27 6°15'	5 12 6°35'	4 98 6°57'	4 84 7°18'	4 74 7°40'	4 65 8°00'	4 62 8°25'	4 57 8°45'	4 52 9°05'	4 44 9°27'	4 40 9°40'	
	5	K _φ	6 23 5°10'	6 20 5°30'	6 15 5°43'	6 10 6°06'	6 06 6°20'	6 00 6°35'	5 94 6°48'	5 88 7°00'	5 81 7°15'	5 74 7°27'	5 67 7°40'	5 58 7°51'	5 50 8°03'	
	6	K _φ	6 00 4°57'	6 06 5°12'	6 08 5°27'	6 10 5°42'	6 12 5°54'	6 12 6°05'	6 03 6°17'	6 04 6°27'	5 98 6°40'	5 92 6°55'	—	—	—	

Таблица XLII

Модель № 12

	c_V	3	4	5	6	6,5
$c_{\Delta_0} = 1,48$	c_{Δ}	1,21	1,08	0,9	0,7	0,575
$M = 0$	K φ	4,25 12°00'	4,80 10°18'	4,47 8°35'	3,82 6°40'	3,34 5°15'
$M_{\text{наивыг}}$	K φ c_M	4,25 12°00' -0,125	4,80 10°30' -0,63	4,50 8°55' -0,525	3,93 7°00' -0,35	3,52 5°40' -0,19

Таблица XLIII

Модель № 13

M	c_V	c_{Δ} K, φ	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$M = 0$	3	K φ	— —	— —	5,40 9°45'	5,16 10°09'	5,04 10°30'	4,94 10°55'	4,78 11°15'	4,67 11°45'	4,55 12°00'
	4	K φ	4,76 10°40'	4,66 11°05'	4,56 11°21'	4,50 11°42'	4,44 12°00'	4,36 12°12'	4,30 12°27'	4,22 12°42'	— —
	5	K φ	4,74 9°33'	4,66 10°17'	4,54 10°57'	4,48 11°27'	4,38 11°55'	4,30 12°18'	4,20 12°27'	— —	— —
$M_{\text{наивыг}}$	3	K φ	— —	5,60 8°00'	5,50 8°36'	5,36 9°05'	5,25 9°30'	5,12 9°53'	4,97 10°25'	4,83 10°45'	4,68 11°03'
	4	K φ	5,74 6°35'	5,59 7°10'	5,48 7°42'	5,36 8°10'	5,24 8°36'	5,12 8°55'	5,03 9°15'	4,94 9°33'	— —
	5	K φ	5,48 7°03'	5,38 7°10'	5,32 7°27'	5,32 7°38'	5,32 7°45'	5,34 7°42'	5,38 7°40'	— —	— —

Таблица XLIV

Модель № 14

M	c _v	c _Δ		0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
		K, φ									
M = 0	3	K φ	— —	—	4,86 10°18'	4,63 10°39'	4,41 10°57'	4,25 10°45'	4,16 11°10'	4,09 11°35'	4,04 12°20'
	4	K φ	6,16 8°25'	5,40 9°30'	4,94 10°15'	4,64 10°48'	4,56 11°25'	4,46 11°50'	4,30 12°10'	— —	— —
	5	K φ	7,30 5°42'	6,86 6°30'	6,50 7°25'	6,30 8°09'	6,12 8°50'	— —	— —	— —	— —
M наибыг	3	K φ	— —	— —	5,13 8°50'	4,81 10°30'	4,58 11°30'	4,45 12°06'	4,40 12°30'	— —	— —
	4	K φ	7,80 6°12'	7,00 6°36'	6,02 7°00'	5,75 7°36'	5,55 8°15'	5,46 9°05'	5,04 10°00'	— —	— —
	5	K φ	7,96 5°15'	7,28 5°20'	7,40 5°30'	7,43 5°45'	7,22 6°15'	— —	— —	— —	— —

**ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ
РАСЧЕТЫ ГИДРОСАМОЛЕТА**

ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГИДРОСАМОЛЕТА

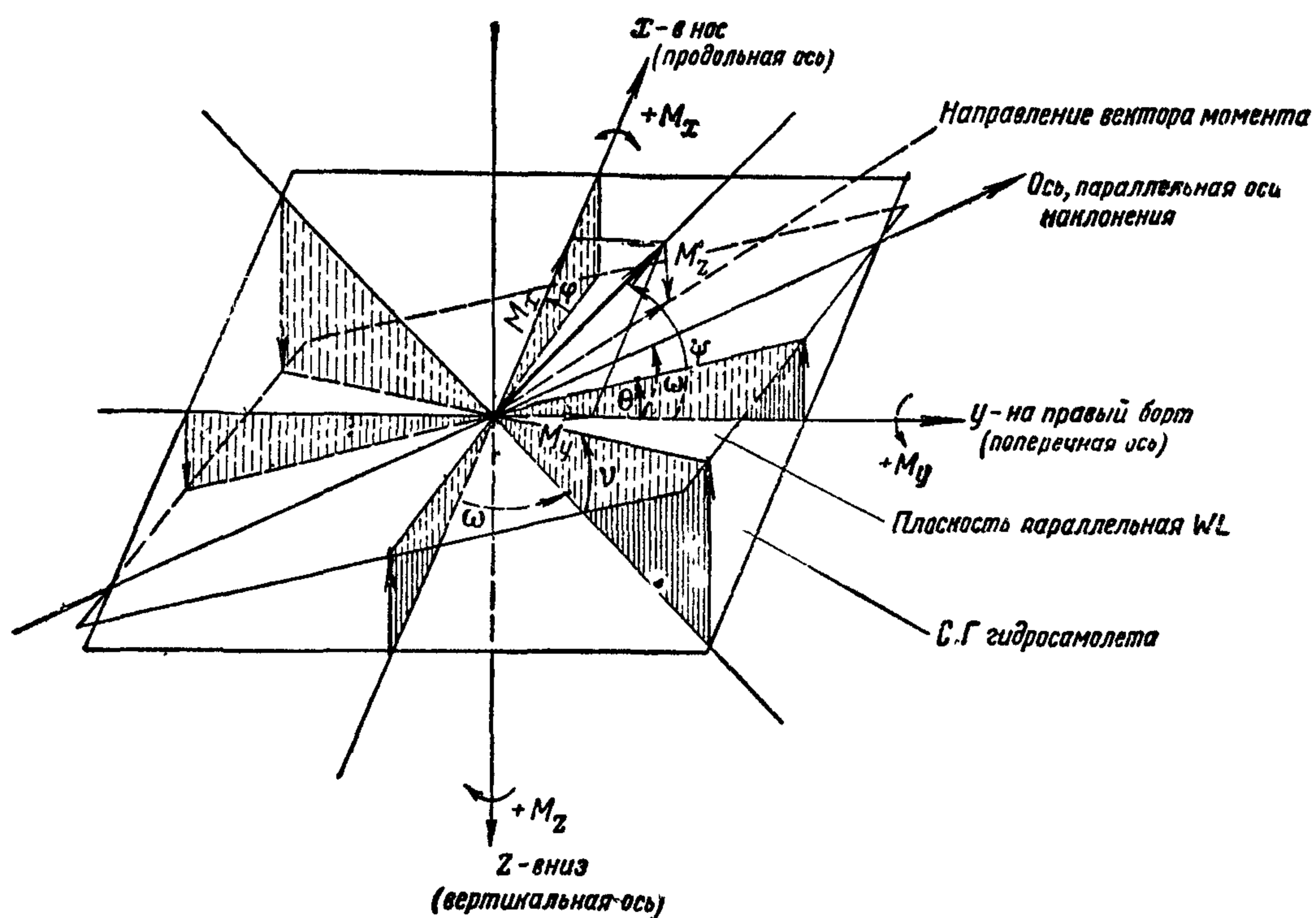
В задачу гидростатического расчета входит:

- 1) определение грузовой (GWL) и упорной ватерлиний,
- 2) построение продольной и поперечной диаграмм Рида,
- 3) расчет предельной скорости ветра,
- 4) поверочный расчет непотопляемости гидросамолета.

Система координат. Определения

Система координат жестко связана с плавающим гидросамолетом. Начало координат принимается на киле лодки (или поплавка) на первом редане. Расположение осей координат: ось Ox — параллельна СГ лодки и обращена в нос, ось Oy — обращена на правый борт и ось Oz — вниз (фиг. 203).

Обозначения всех углов, координирующих наклонение гидросамолета относительно плоскости ватерлинии (WL), а также и положительные на-



Фиг. 203

правления составляющих по осям координат момента крена, действующего на самолет, даны на фиг. 203. Угол диферента считается положительным при погружении кормы. (Углом диферента φ называется угол между осью Ox и следом плоскости xOz на плоскости действующей ватерлинии). Угол крена положителен, когда правый борт погружается в воду (углом крена θ называется угол между осью Oy и следом плоскости yOz на плоскости WL). Положительные направления восстанавливающих моментов приняты противоположными кренящим.

Гидростатической поддерживающей силой называется равнодействующая всех сил гидростатического давления, действующих на погруженную в жидкость поверхность спокойно плавающего тела.

Центром величины (ц. в.) называется ц. т. объема, ограниченного плоскостью WL и погруженной в жидкость поверхностью плавающего тела.

Первый закон гидростатики (закон Архимеда)

Гидростатическая поддерживающая сила направлена вверх, перпендикулярно плоскости соответствующей WL , и по своему значению равна весу жидкости в объеме, ограниченном плоскостью WL и погруженной в жидкость поверхностью плавающего тела.

Второй закон гидростатики

Гидростатическая поддерживающая сила плавающего тела приложена в его ц. в.

Грузовой ватерлинией (GWL) называется линия пересечения корпуса плавающего гидросамолета спокойной водной поверхностью.

Осадкой (T) называется погружение гидросамолета в воду, измеряемое по шпангоуту на первом редане.

Пловучестью гидросамолета называется его способность плавать при заданном полетном весе, сохраняя при этом определенную ватерлинию.

Объем, ограниченный плоскостью WL и поверхностью подводной части гидросамолета, называется его объемным водоизмещением (V). Иногда употребляется еще понятие весового водоизмещения (D), представляющего собой вес воды в этом объеме. Водоизмещение гидросамолета обычно вычисляется при помощи масштаба Бонжана (стр. 200).

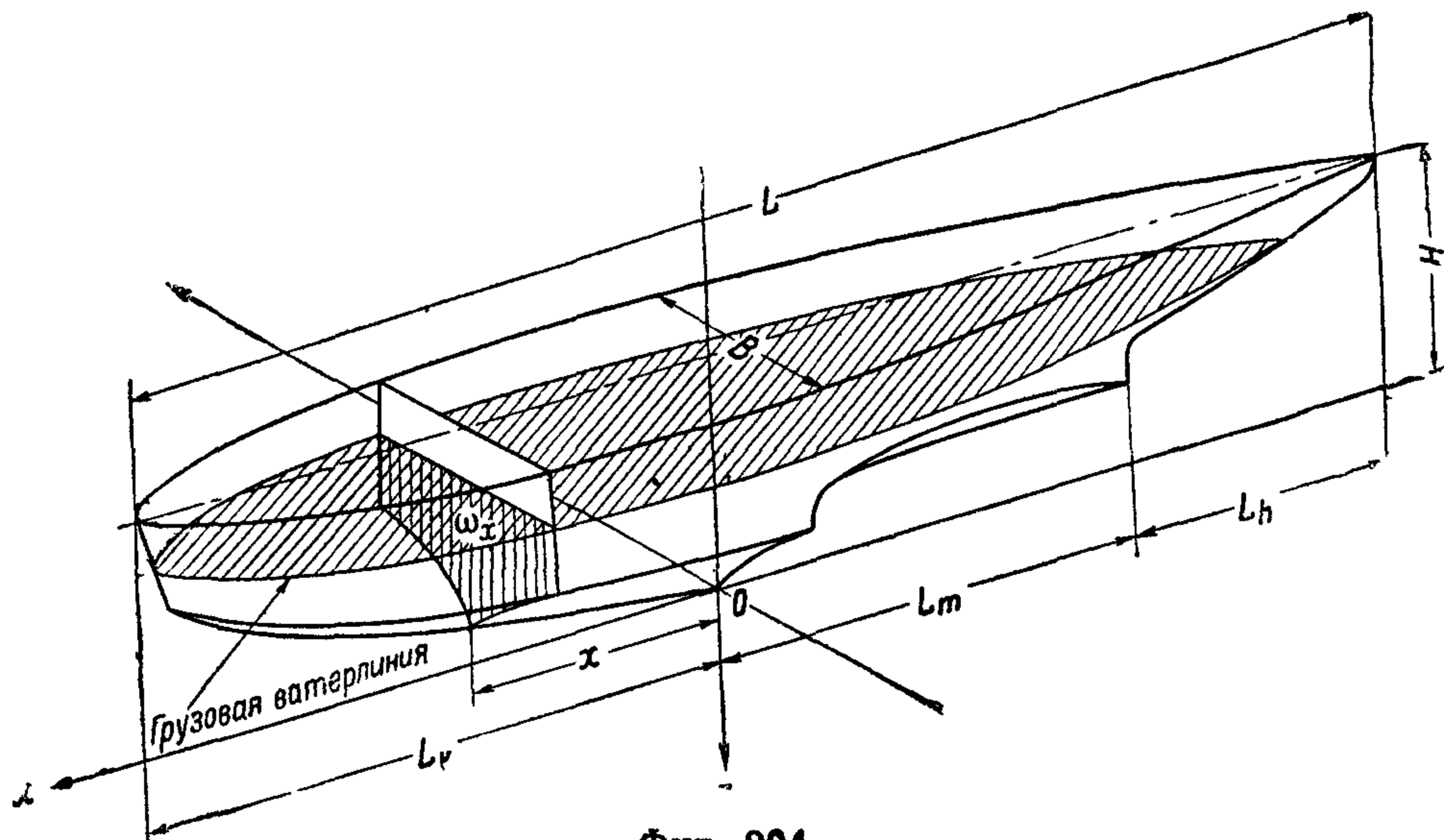
Запасом пловучести гидросамолета называется объем $V_{\text{п}}$, ограниченный плоскостью WL и поверхностью надводной водонепроницаемой части лодки (или поплавков). Если V — полный объем лодки, а $V_{\text{п}}$ — водоизмещение ее подводной части, то запас пловучести:

$$V_{\text{п}} = V - V_{\text{п}}$$

Коэффициентом запаса пловучести k (его обычно выражают в процентах) называется отношение

$$k = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{п}}} 100 [\%].$$

Строевой по шпангоутам называется кривая $\omega_x = f(x)$, где ω_x — площадь шпангоута, отсекаемая данной грузовой ватерлинией (фиг. 204),



Фиг. 204

и находящаяся на расстоянии x от начала координат. Она изображает (фиг. 205) закон изменения расположенных ниже GWL частей площадей шпангоутов по длине лодки. Площадь, ограниченная строевой по шпангоутам и осью абсцисс, дает водоизмещение лодки, отсекаемое данной GWL :

$$V = \int_L \omega_x dx.$$

При практических расчетах значения ω_x , обычно, определяются планиметрированием.

Строевой по ватерлиниям называется кривая $\omega_z = f(z)$, дающая закон изменения площади WL по осадке (ω_z — площадь сечения подводной части лодки гидросамолета плоскостью, параллельной плоскости xOy и отстоящей от нее на расстоянии z) (фиг. 206).

Площадь, ограниченная замкнутой кривой:

$$\omega_z = f(z),$$

дает водоизмещение лодки $V = \int_0^{z_0} \omega_z dz$.

Для данной GWL справедливо равенство.

$$\int_L \omega_x dx = \int_0^{z_0} \omega_z dz.$$

Определение координат ц. в. при помощи строевых по шпангоутам и ватерлиниям

Координаты ц. в. вычисляются по формулам.

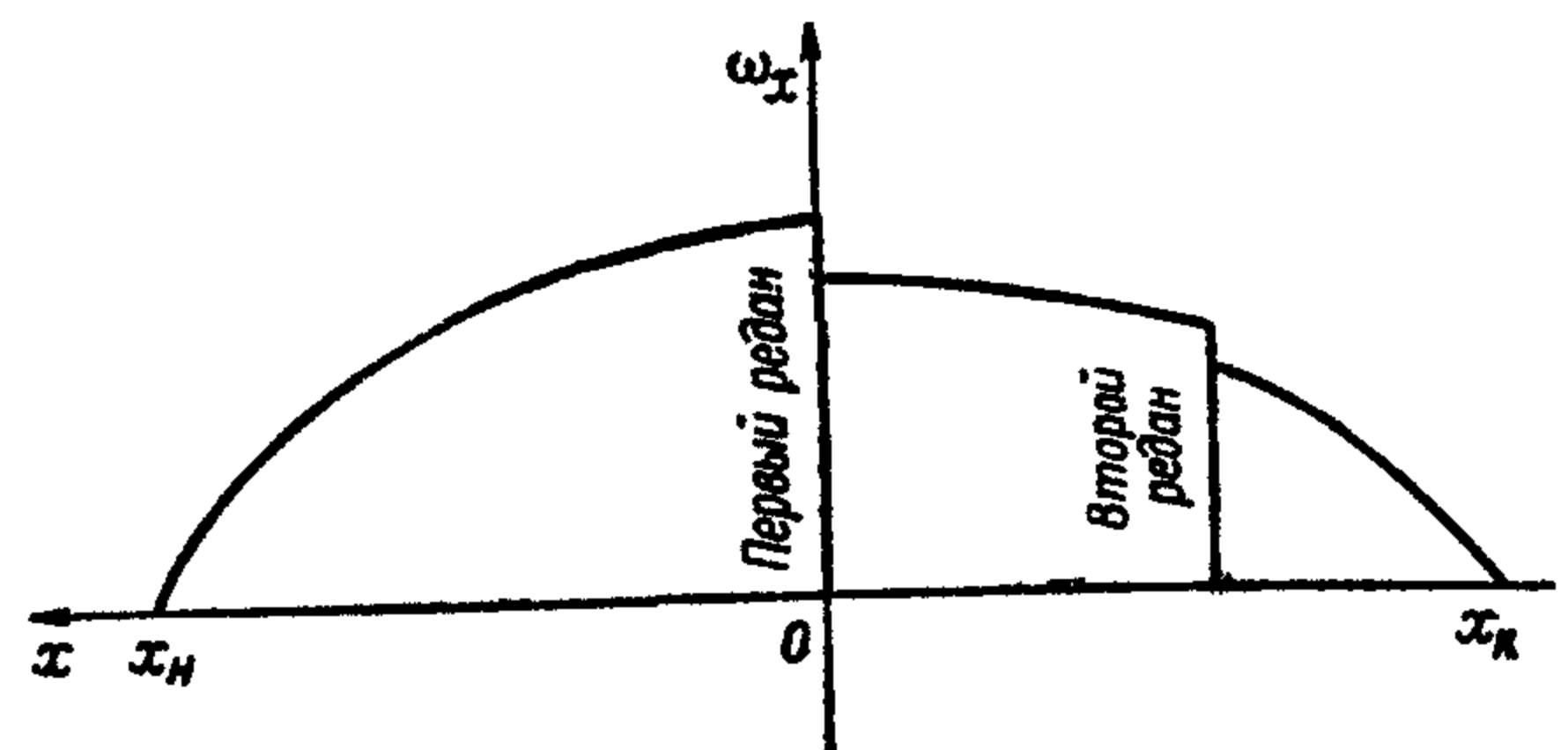
$$x_c = \frac{1}{V} \int_L \omega_x x dx = \frac{\int_L \omega_x x dx}{\int_L \omega_x dx},$$

$$z_c = \frac{1}{V} \int_0^{z_0} \omega_z z dz = \frac{\int_0^{z_0} \omega_z z dz}{\int_0^{z_0} \omega_z dz};$$

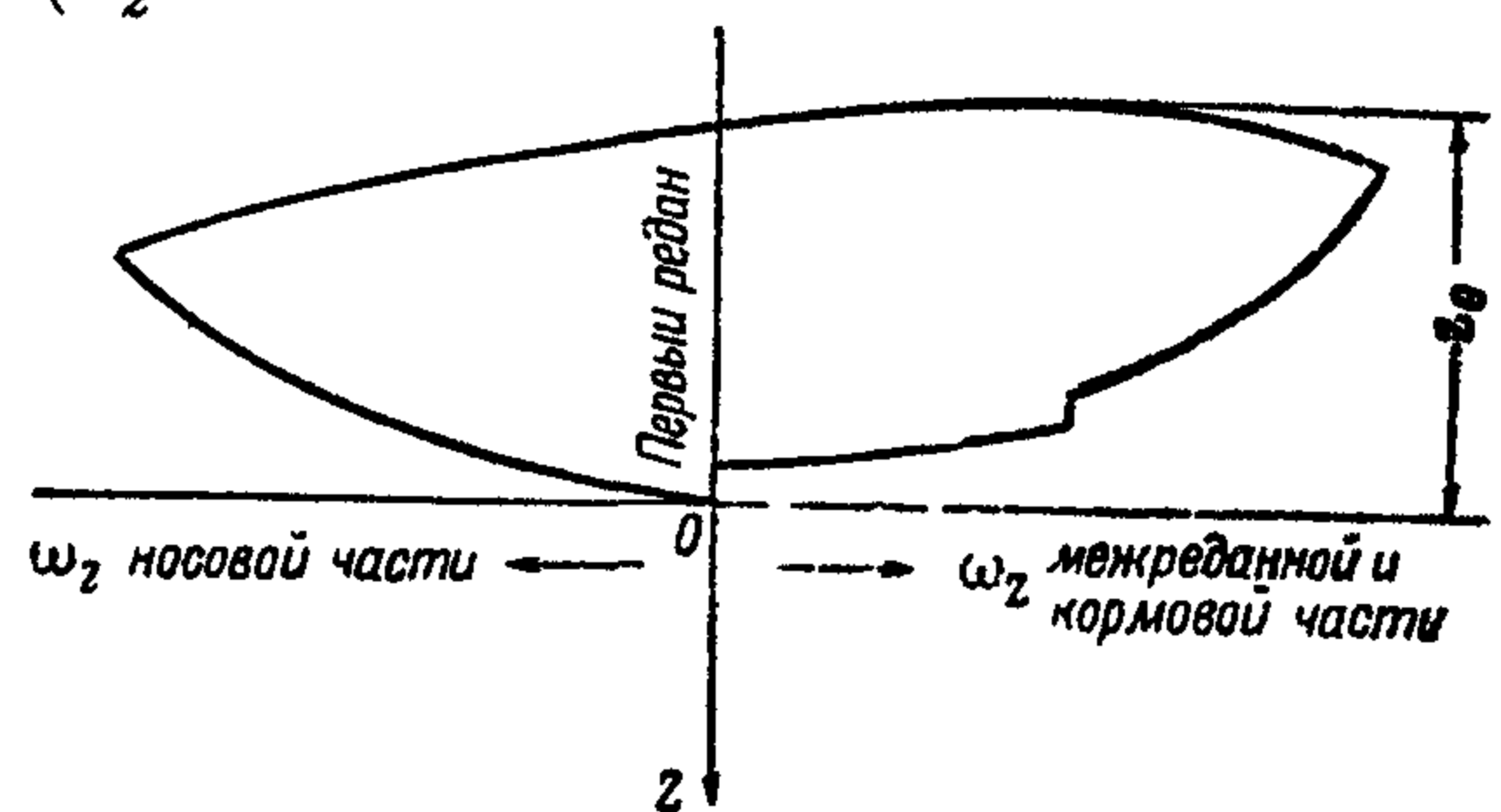
при этом

$$y_c = 0$$

если крен отсутствует и лодка или поплавков имеют продольную плоскость симметрии. Отсюда следует, что абсцисса ц. т. площади строевой по шпангоутам есть абсцисса ц. в. (x_c), а ордината ц. т. площади строевой по ватерлинии — ордината ц. в. (z_c).



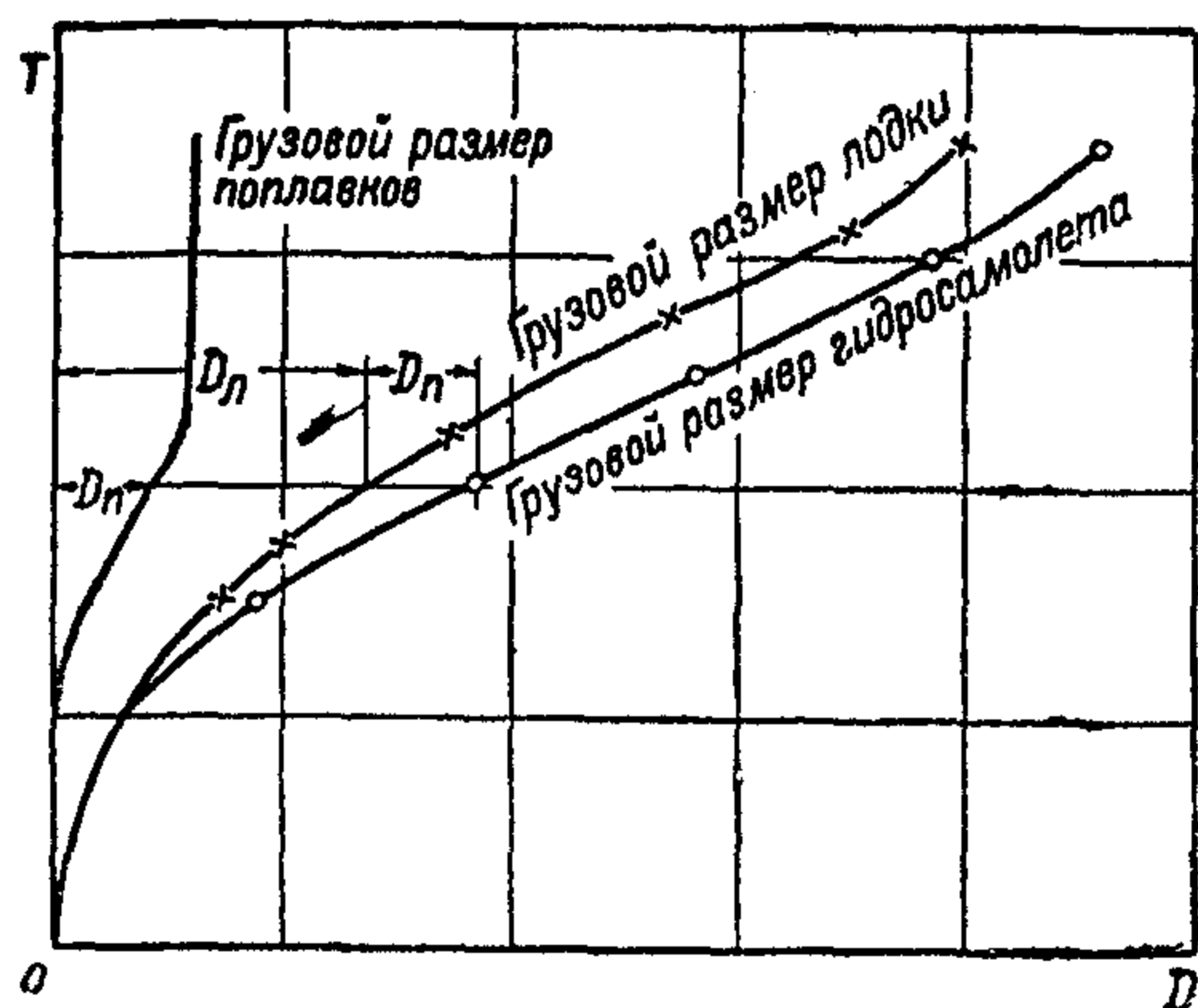
Фиг. 205



Фиг. 206

Определение грузового размера

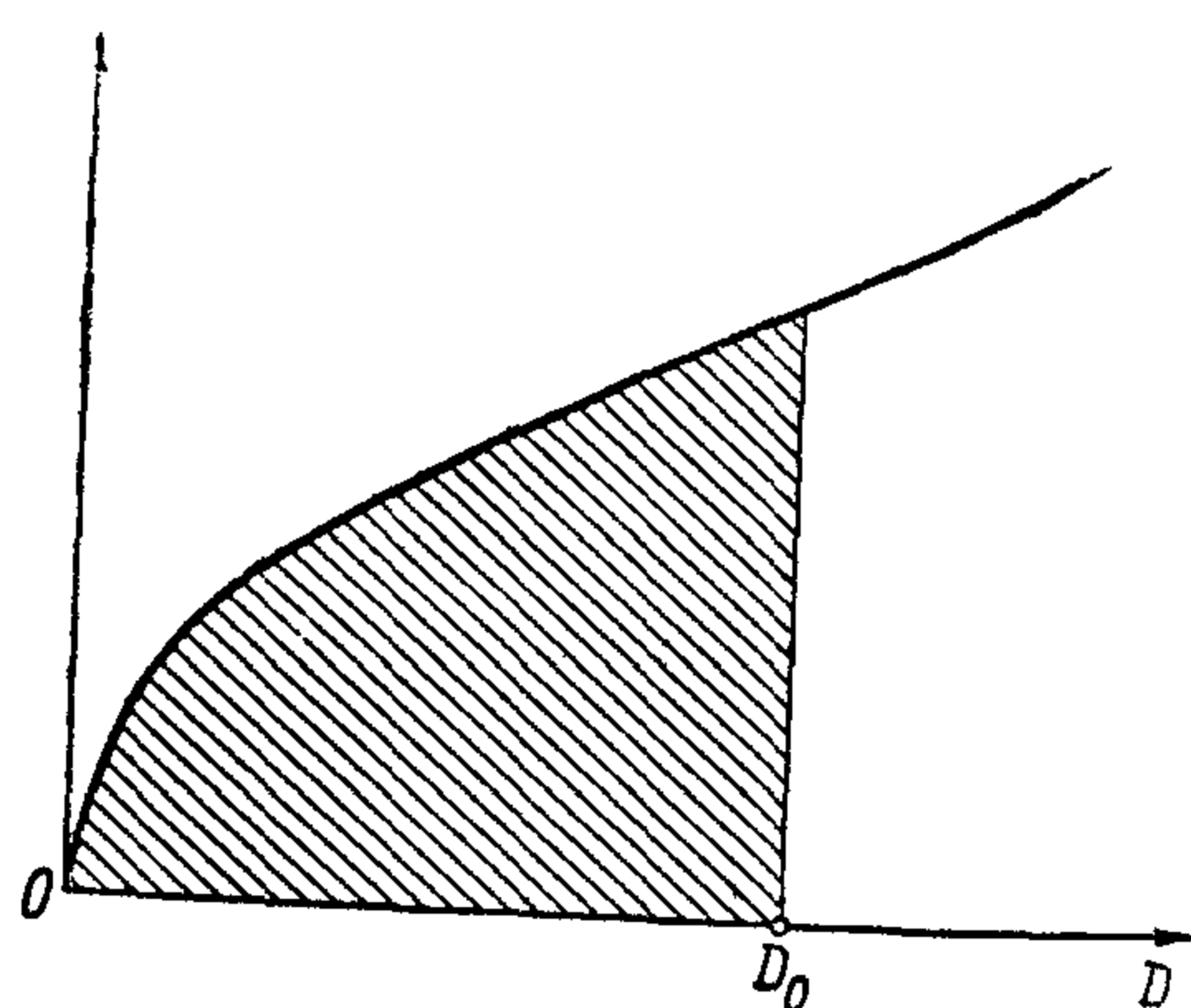
Грузовым размером называется график изменения осадки гидросамолета T на первом редане в функции водоизмещения D , при постоянном диференте (фиг. 207). В большинстве случаев пользуются грузовым размером



Фиг. 207

при $\varphi = \theta = 0$. Для построения грузового размера, на проекциях бока и корпуса, пробивают 5—8 ватерлиний. Для каждой из них вычисляют отсекаемое ею водоизмещение. Для лодки и подкрыльных поплавков водоизмещения вычисляются и строятся отдельно (кривые $D_{л}$ и $D_{п}$ на фиг. 207). Складывая для каждой осадки соответствующие водоизмещения лодки и поплавков, получают грузовой размер гидросамолета. Практически, грузовой размер при гидростатическом расчете получается в процессе построения масштаба Бонжана.

Определение ординаты ц. в. при помощи грузового размера



Фиг. 208

Определив планиметрированием площадь, ограниченную кривой грузового размера для заданного водоизмещения (фиг. 208), вычисляют ординату ц. в. по формуле:

$$z_c = \frac{\int_0^D z dV}{D}$$

При грубых расчетах можно принимать.
для лодки $z_c = 0,7T$,
для поплавков $z_c = 0,64T$.

Построение масштаба Бонжана

Для построения масштаба Бонжана лодку или поплавок разбивают на ряд (15—20) приблизительно равных отсеков. Разбивка лодки на равные отсеки позволяет упростить вычислительную работу, вынося длину отсека общим множителем при подсчете водоизмещения и абсциссы ц. в.

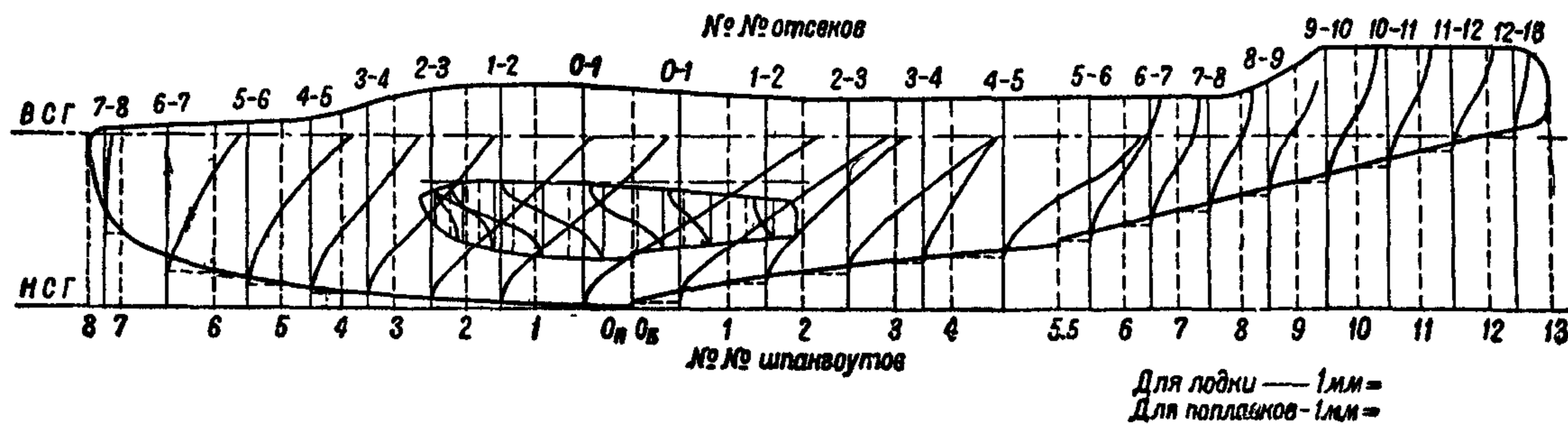
Если имеется конструктивная разбивка шпангоутов, то разбивка лодки на отсеки должна быть произведена так, чтобы в число шпангоутов, разграничивающих выделенные отсеки, были включены реданные шпангоуты. Для каждого отсека, при различных его погружениях, в предположении $\varphi = \theta = 0$, вычисляется его водоизмещение и строится грузовой размер. Соответствующие значения водоизмещения в некотором масштабе откладываются от середины каждого отсека на боковой проекции лодки. Полученные точки соединяются кривыми. Совокупность этих кривых называется масштабом Бонжана (фиг. 209). Масштаб Бонжана подкрыльных поплавков строится на том же чертеже, но для удобства пользования кривые откладываются в противоположную сторону. При вычислении грузовых размеров отсеков, площади шпангоутов планиметрируются, а объемы отсеков вычисляются по правилу трапеции:

$$V_i = \Delta l_i \omega_{cp},$$

$$\omega_{cp} = \frac{\omega_{i-1} + \omega_i}{2},$$

где Δl_i — расстояние между шпангоутами с номерами $(i-1)$ и (i) .

Вычисления располагаются в таблицу (таблица XLV), в которой $\Sigma \Delta V_i$ — представляет объем лодки, отсекаемый данной ватерлинией (соответствующей осадке T).



Фиг 209

Таблица XLV

№ шпангоутов	Расстояние между шпангоутами	№ ватерлинии				...	№ ватерлинии				
		Осадка $T =$					Осадка $T =$				
$0/1$	Δl_0	0	$\frac{\omega_1}{2}$	$\omega_{\text{ср}}$	ΔV_0	...	0	$\frac{\omega_1}{2}$	$\omega_{\text{ср}}$	ΔV_0	
$1/2$	Δl_1	$\frac{\omega_1}{2}$	$\frac{\omega_2}{2}$	$\omega_{\text{ср}}$	ΔV_1	...	$\frac{\omega_1}{2}$	$\frac{\omega_2}{2}$	$\omega_{\text{ср}}$	ΔV_1	
$2/3$	Δl_2	$\frac{\omega_2}{2}$	$\frac{\omega_3}{2}$	$\omega_{\text{ср}}$	ΔV_2	...	$\frac{\omega_2}{2}$	$\frac{\omega_3}{2}$	$\omega_{\text{ср}}$	ΔV_2	
$3/4$	Δl_3	$\frac{\omega_3}{2}$	$\frac{\omega_4}{2}$	$\omega_{\text{ср}}$	ΔV_3	...	$\frac{\omega_3}{2}$	$\frac{\omega_4}{2}$	$\omega_{\text{ср}}$	ΔV_3	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
					$\Sigma \Delta V_i =$...	$\Sigma \Delta V_i =$				

Пользуясь значениями $\Sigma \Delta V_i$ этой таблицы, строят грузовой размер лодки гидросамолета для $\varphi = \theta = 0$.

Иногда масштаб Бонжана строят не по объемам отсеков, а по площадям шпангоутов. В этом случае, для каждого шпангоута строят кривую, показывающую изменение его площади по осадке. Хотя этот способ и является более точным, однако, вследствие громоздкости, менее употребителен.

Определение ватерлиний, отсекающих заданное водоизмещение

Для ряда углов диферента определяются WL , отсекающие весовое водоизмещение, равное весу (G) гидросамолета. Подбор таких WL производится следующим образом. с помощью грузового размера, построенного для $\varphi = 0$, определяют осадку, соответствующую заданному водоизмещению. Затем, для каждого заданного угла диферента на боковом виде лодки с нанесенным масштабом Бонжана проводят три WL в диапазоне ожидаемых осадок (о котором можно судить, зная осадку для $\varphi = 0$). Объем, отсекаемый каждой WL подсчитывается по масштабу Бонжана и строится график $T = f(D)$. По этому графику и находят осадку, соответствующую искомой WL , при данном угле диферента. Для расчета GWL практически бывает достаточно подобрать три WL для углов диферента $\varphi = 0^\circ$, $\varphi = -3^\circ$ и $\varphi = +3^\circ$.

Вычисление абсциссы ц. в. при помощи масштаба Бонжана

Абсцисса ц. в. выражается формулой:

$$x_c = \frac{\sum x \Delta V}{V},$$

где x — расстояние от начала координат до середины данного отсека, ΔV — объем этого отсека, соответствующий данной WL , определяемый по масштабу Бонжана. Суммирование ведется по всем отсекам масштаба Бонжана.

Моменты отсеков, расположенных слева от начала координат, считаются положительными, а справа — отрицательными.

Вычисления x_c располагаются в таблицу (таблица XLVI).

Объемы отсеков, для упрощения вычислений, обычно выражаются числом миллиметров масштаба Бонжана (при условии, что и для лодки и для поплавков один литр водоизмещения выражается одинаковым числом миллиметров масштаба Бонжана). Тогда моменты представляют произведения объемов отсеков, выраженных числом миллиметров масштаба Бонжана на соответствующие плечи, выраженные, например, в метрах.

Остойчивость

Остойчивостью гидросамолета, плавающего в некотором положении, называется его способность при отклонении в известных пределах от состояния равновесия двигаться по прекращении действия возмущающей силы, сохраняя плоскость действующей ватерлинии, близкой к ее первоначальному положению.

Остойчивость по отношению к бесконечно малым отклонениям от положения равновесия называется начальной остойчивостью. Для двухлодочных и двухпоплавковых гидросамолетов законы, обуславливающие начальную остойчивость, практически сохраняются до углов крена и дифферента, порядка 5° . Для других типов гидросамолетов эти законы, даже при меньших углах, могут сильно нарушаться.

Гидросамолет называется статически остойчивым, если максимальное значение восстанавливающего гидростатического момента для допускаемых отклонений больше заданных внешних моментов. При этом предполагается, что водоизмещение гидросамолета при всех его отклонениях сохраняется постоянным.

Гидросамолет называется динамически остойчивым, если работа восстанавливающего гидростатического момента для допускаемых отклонений больше работы внешних моментов.

Начальная остойчивость

Осью наклона гидросамолета называется линия пересечения двух плоскостей ватерлиний, отсекающих равные водоизмещения. Эта ось при бесконечно малых наклонах проходит через центр тяжести площади ватерлинии. На фиг. 203 через ω обозначен угол между осью наклона $O\omega$ и осью Oy , а через γ — бесконечно малый угол поворота гидросамолета вокруг оси наклона. Центр величины гидросамолета смещается при этом из положения C_0 в C_1 (фиг. 210) по прямой, параллельной линии, соединяющей ц. в. клиньев c и c_1 , отсекаемых от его водоизмещения плоскостями соответствующих WL .

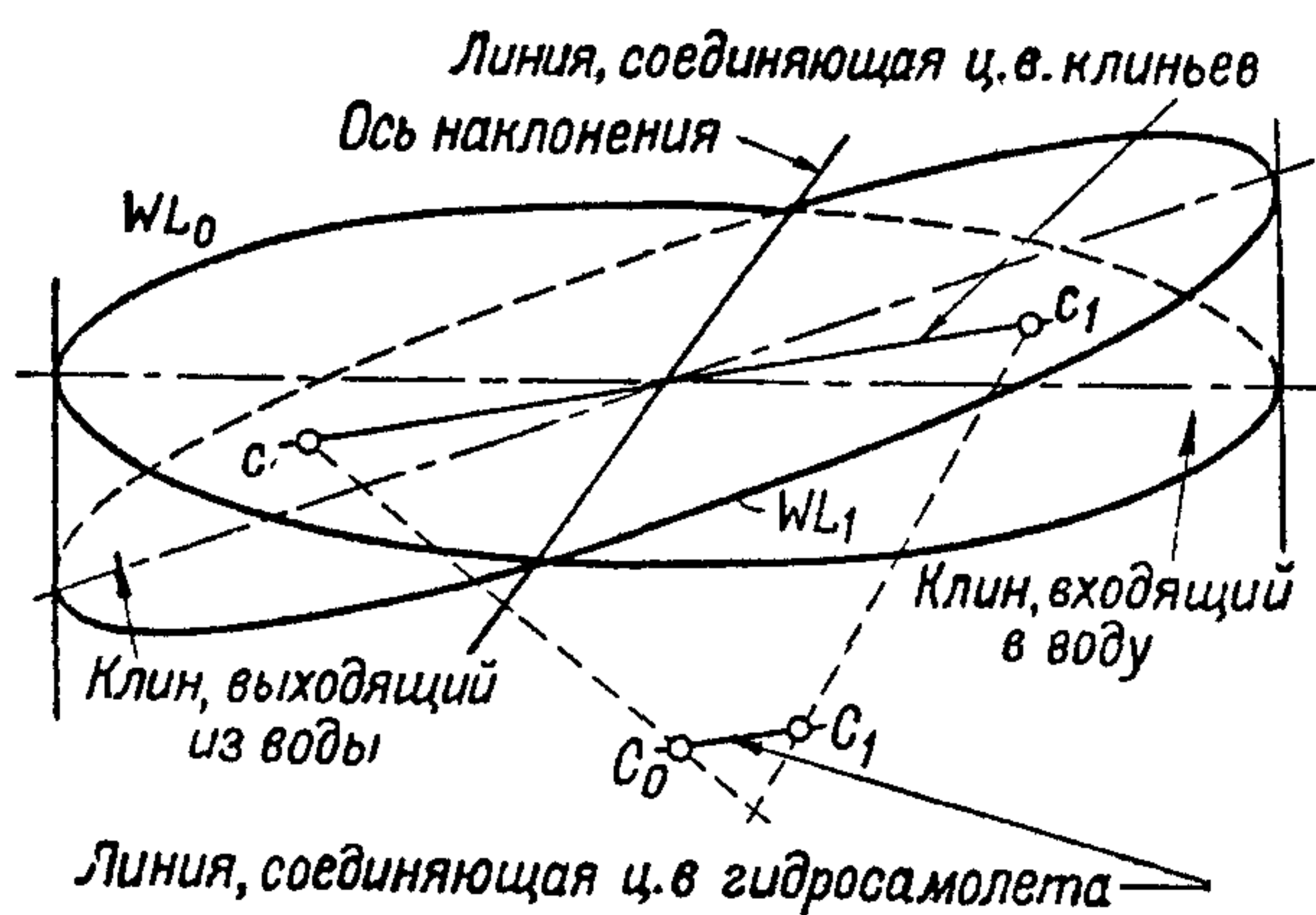
Если провести нормали C_0N_0 и C_1N_1 (фиг. 211) к плоскостям ватерлиний WL_0 и WL_1 через соответствующие центры величин C_0 и C_1 (при

Таблица ХЛVI

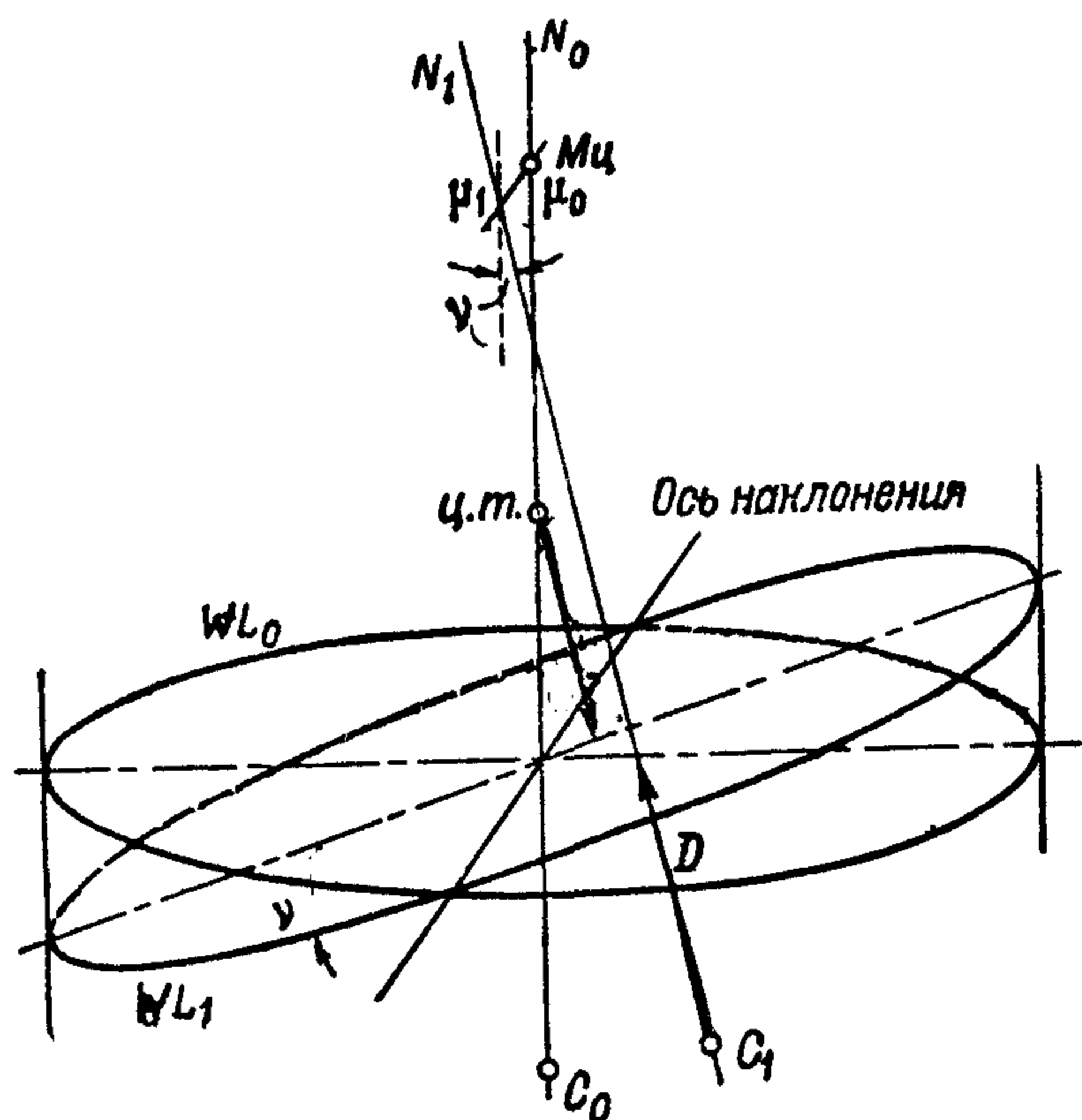
Отсеки, расположенные в корму от первого редана лодки	Отсеки, расположенные в нос от первого редана лодки	Кормовые отсеки	Межреданные отсеки	Носовые отсеки	Угол дифферента					
					$\varphi = 0^\circ$		$\varphi = 3^\circ$			
					№ отсека	плечо	объем отсека	момент	объем отсека	момент
					1					
					2					
					...					
					Σ					
					1					
					2					
					...					
					Σ					
					ПОПЛАВКИ:					
					1					
					2					
					...					
					Σ					

произвольном направлении оси наклоения эти нормали не пересекутся) и построить общий перпендикуляр $\mu_0\mu_1$ к прямым C_0N_0 и C_1N_1 , то основание этого перпендикуляра μ_0 на прямой C_0N_0 будет метacentром (Мц), соответствующим данной оси наклоения.

Линия $\mu_0\mu_1$ параллельна оси наклоения. Расстояние $C_0\mu_0$ от ц. в. до



Фиг. 210



Фиг. 211

Мц называется метacentрическим радиусом (ρ_ω), соответствующим данной оси наклоения.

Величина ρ_ω определяется по формуле:

$$\rho_\omega = \frac{I_\omega}{V},$$

где I_ω — момент инерции площади ватерлинии относительно оси наклоения $O\omega$.

Если при спокойном плавании гидросамолет не имеет крена (что не выполняется только для однопоплавковых и лодочных гидросамолетов с поддерживающими поплавками), то в силу его симметрии относительно диаметральной плоскости, главными осями наклоения (для которых I_ω имеет максимальное и минимальное значения) являются продольная и поперечная оси гидросамолета.

Эллипс начальной остойчивости (или эллипс инерции). Принимают для простоты, что оси Ox и Oy являются главными осями наклоения. Момент инерции площади ватерлинии I_ω относительно оси $O\omega$ выражается формулой

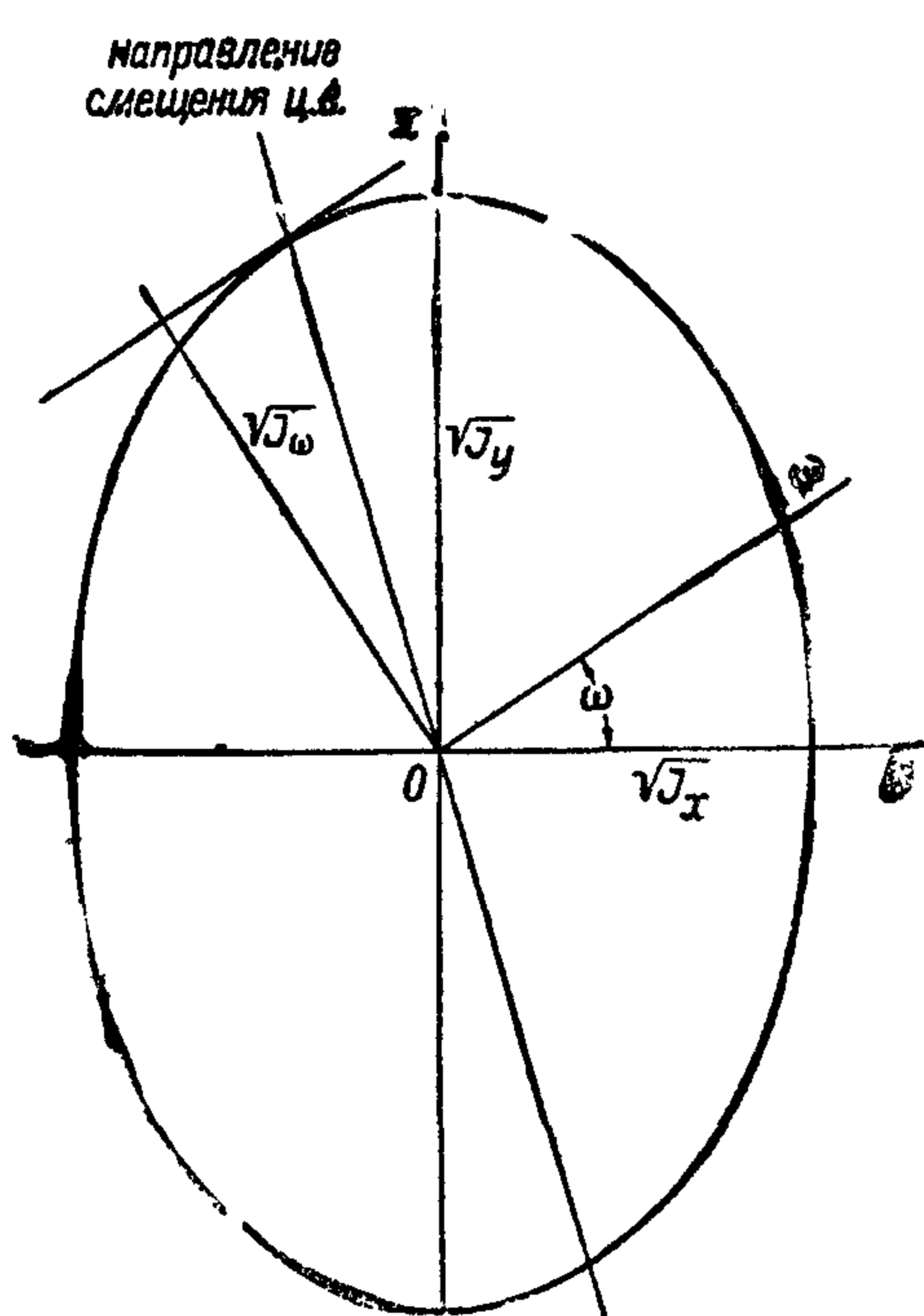
$$I_\omega = I_x \sin^2\omega + I_y \cos^2\omega,$$

которая допускает геометрическую интерпретацию, данную на фиг. 212.

Эллипс фиг. 212 обладает свойствами.

1) он следит за формой WL , т. е. если, например, площадь WL вытянута по оси Ox , то и эллипс остойчивости также вытянут по этой оси;

2) момент инерции площади WL относительно оси $O\omega$ равняется квадрату перпендикуляра, опущенного из центра эллипса на касательную к нему, параллельную оси $O\omega$;



Фиг. 212

3) центр величины гидросамолета при бесконечно малом наклонении его относительно оси $O\omega$ смещается параллельно диаметру эллипса устойчивости, сопряженному с направлением $O\omega$ (теорема Бресса и Сен-Венана).

Метацентрические высоты

При спокойном плавании гидросамолета, его ц. в., ц. т. и Мц расположены на одной вертикали. Расстояние от ц. т. до Мц, соответствующего данной оси наклонения, называется метацентрической высотой (h_ω) для этой оси:

$$h_\omega = \rho_\omega - a,$$

где $a = z_0 - z_c$ есть расстояние от ц. в. до ц. т. гидросамолета.

При бесконечно малом наклонении гидросамолета, гидростатический восстанавливающий момент относительно оси наклонения будет равен (фиг. 211):

$$M_\omega = Dh_\omega \sin \gamma.$$

Эта формула носит название метацентрической формулы устойчивости. Ее область применения ограничивается углами γ , которым соответствуют WL , мало отличающиеся от начальной. Метацентрическую формулу устойчивости можно представить еще в следующем виде:

$$M_\omega = D\rho_\omega \sin \gamma - Da \sin \gamma.$$

Первый член ее правой части зависит только от геометрической формы лодки или поплавков и потому называется моментом устойчивости формы. Второй член правой части — зависит от высоты расположения ц. т. гидросамолета над его ц. в. и называется моментом устойчивости веса.

Главным осям наклонения гидросамолета соответствуют главные метацентрические высоты. Одна из них является минимальной, а другая — максимальной метацентрической высотой.

Минимальная метацентрическая высота определяет минимальный восстанавливающий гидростатический момент и потому служит критерием статической устойчивости.

Если $h_\omega > 0$, то гидросамолет устойчив;

если $h_\omega < 0$, то гидросамолет неустойчив;

если $h_\omega = 0$, то для суждения об устойчивости в выражение для M необходимо ввести члены высших порядков малости относительно γ .

Продольная устойчивость

Вычисление продольной метацентрической высоты

Метацентр, соответствующий поперечной оси наклонения, называется продольным метацентром ($Мц_L$).

Продольным метацентрическим радиусом (ρ_L) называется расстояние от ц. в. до $Мц_L$.

Продольной метацентрической высотой (h_L) называется расстояние от ц. т. гидросамолета до $Мц_L$:

$$h_L = \rho_L - a.$$

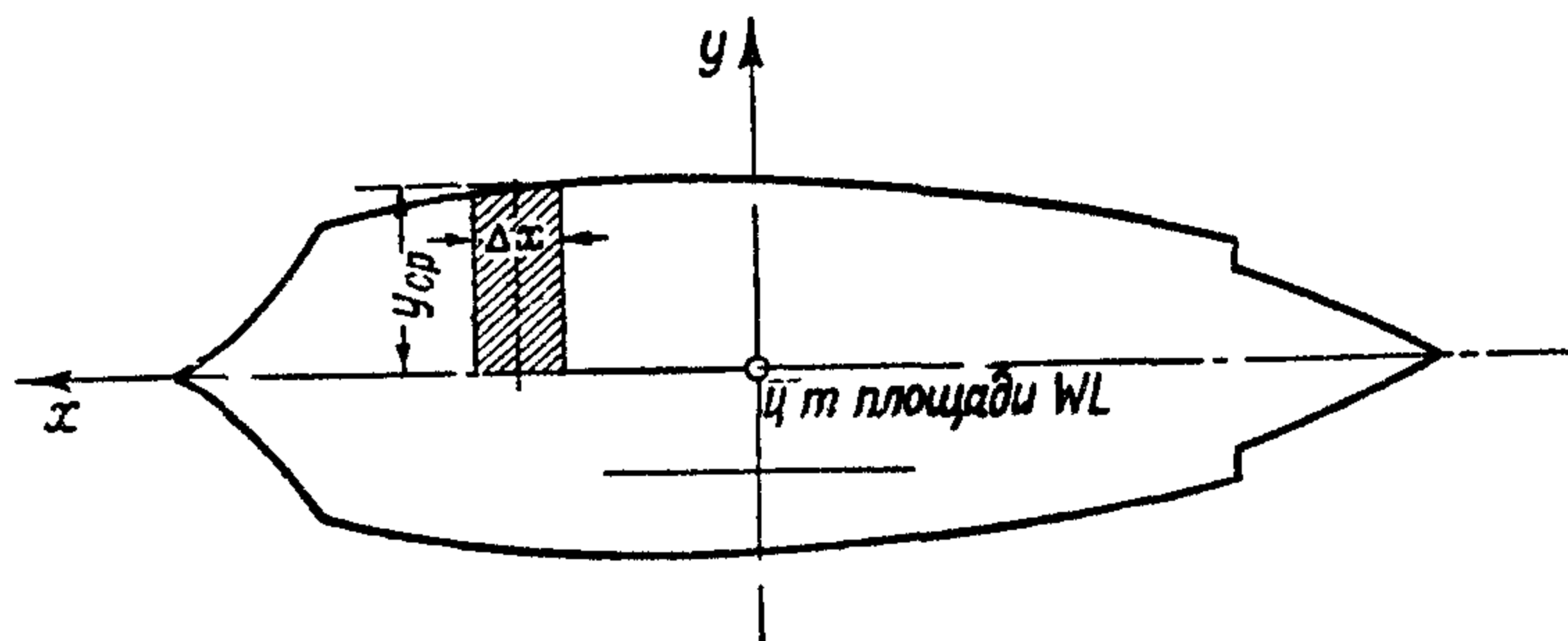
Продольный метацентрический радиус выражается формулой:

$$\rho_L = \frac{I_L}{V},$$

где I_L — момент инерции площади WL относительно поперечной оси, проходящей через ц. т. площади GWL ,

V — водоизмещение погруженной части гидросамолета.

Для определения I_L с теоретического чертежа лодки снимают по шпангоутам ординаты y ватерлинии (фиг. 213), затем строят график функции x^2y по x . Планиметрируя площадь, ограниченную кривой $x^2y=f(x)$ и осью x и, удваивая результат, находят значение момента инерции I_L . Водоизмещение V определяется при помощи масштаба Бонжана



Фиг 213

(По английским данным¹ ошибки в осадке двухпоплавкового гидросамолета, влекущие погрешности соответственно 5 и 10% в водоизмещении, дают 2½ и 5% погрешности в величине продольной метацентрической высоты. Ошибкам в определении грузового дифферента (дифферента, соответствующего GWL) в -1° , $-1/2^\circ$, $1/2^\circ$, 1° соответствуют, в среднем, погрешности в определении h_L в 15,4, 8,2, 9,5, 20%)

Построение продольной диаграммы Рида при помощи масштаба Бонжана

Продольной диаграммой Рида называется кривая, выражающая зависимость между углом дифферента φ гидросамолета и восстанавливающим моментом M_D от гидростатической подъемной силы

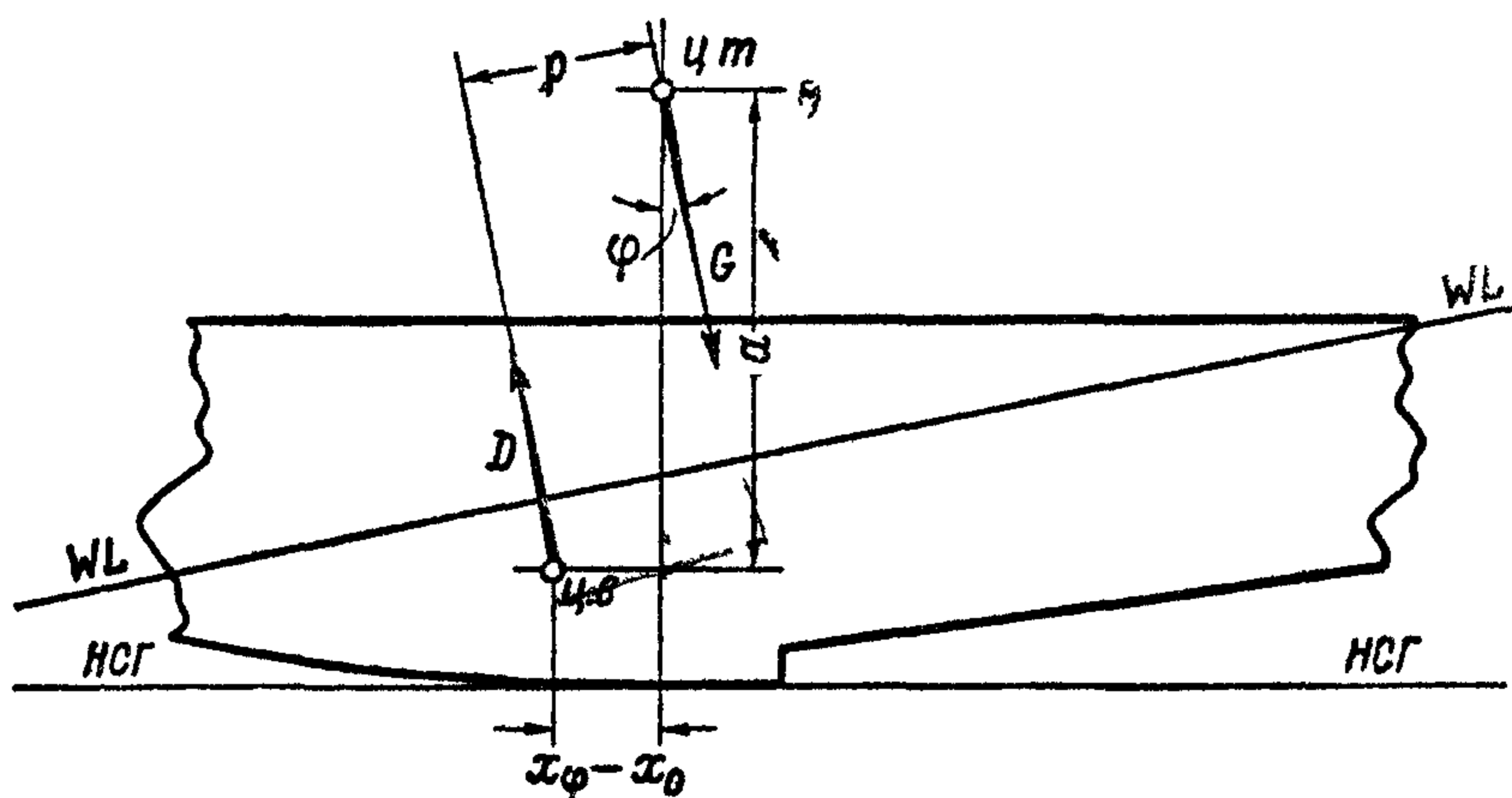
Для построения продольной диаграммы Рида, пользуясь теоретическим чертежом лодки, подбирают WL для ряда углов дифферента (обычно для $\varphi = -3^\circ$, $\varphi = 0^\circ$ и $\varphi = 3^\circ$). Затем находят восстанавливающий момент

$$M_D = pD,$$

где p — плечо остойчивости

Плечо остойчивости p (фиг 214) находят по формуле

$$\frac{p}{\cos \varphi} = x_0 - x_\varphi - a \operatorname{tg} \varphi$$

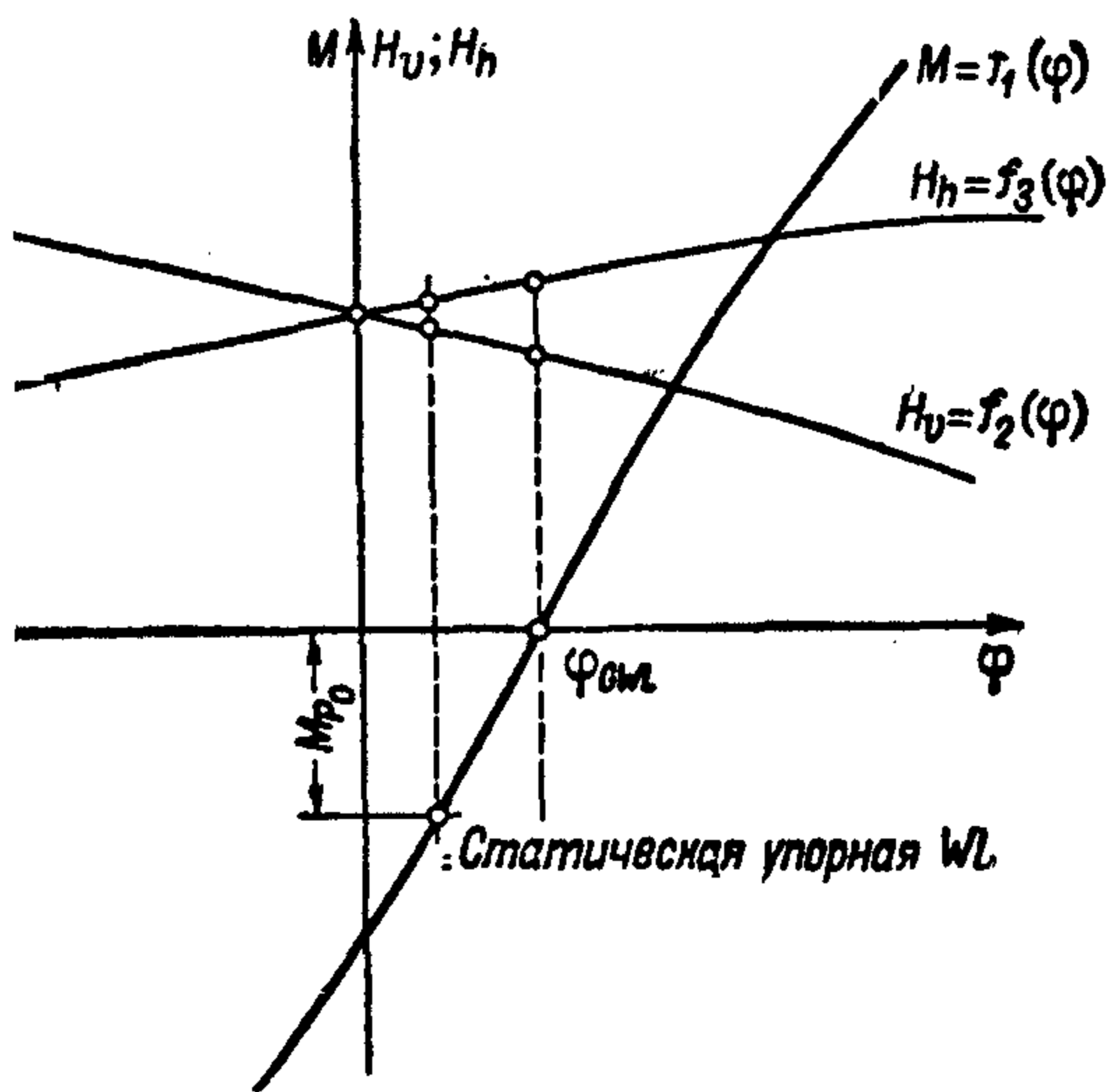


Фиг 214

Вследствие малости угла φ обычно полагают $\cos \varphi = 1$.

Для упрощения вычислений считают, что a от φ не зависит, и равняется соответствующему значению при $\varphi = 0$. Это допущение оправдывается

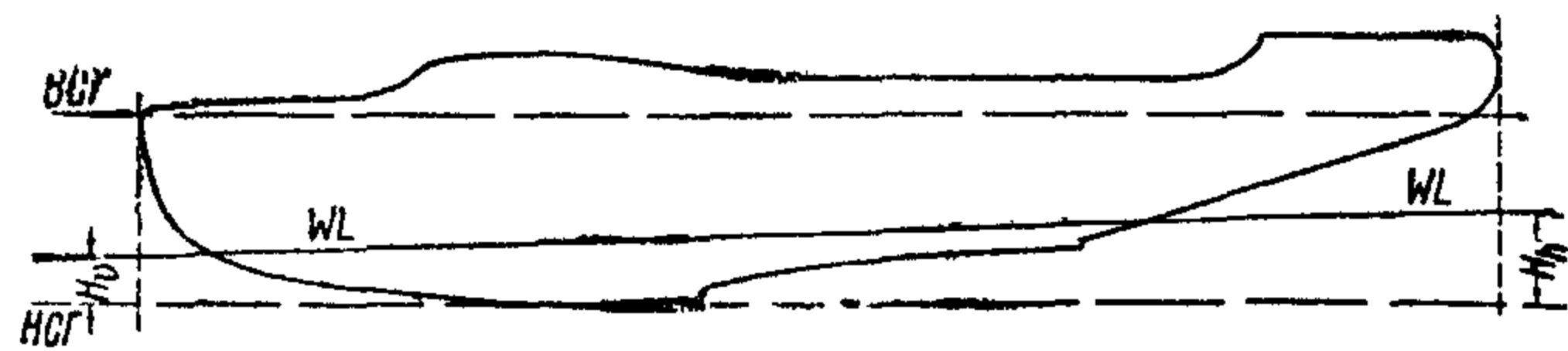
тем, что a умножается на малую величину $\operatorname{tg} \varphi$, что и скрадывает погрешность в определении p . Для иллюстрации, ниже приведена таблица XLVII



Фиг. 215

Таблица XLVII

Угол дифферента φ°	-8	-3	0	3	8
$\frac{\Delta p}{p}$ [%]	2,0	0,3	0	-1,3	0,6
$\frac{z_{сф}}{z_{с0}}$	0,52	0,86	1,0	1,04	0,86



Фиг. 216

значений $\frac{z_{сф}}{z_{с0}}$, и погрешности в плече остойчивости, получающиеся за счет допущения $a = \operatorname{const}$ для углов дифферента φ от -8° до 8° одного из лодочных гидросамолетов.

По полученным в результате вычисления восстанавливающим моментам для заданного веса гидросамолета, зная φ , строят продольную диаграмму Рида (фиг. 215). На той же диаграмме строят кривые носового (H_v) и кормового (H_h) перпендикуляров (фиг. 216), необходимые для координирования WL для любого угла дифферента. Пользуясь продольной диаграммой Рида, можно определить метацентрическую высоту по формуле:

$$h_L = \frac{1}{D} \left(\frac{dM_D}{d\varphi} \right)_{\varphi = \varphi_{GWL}}$$

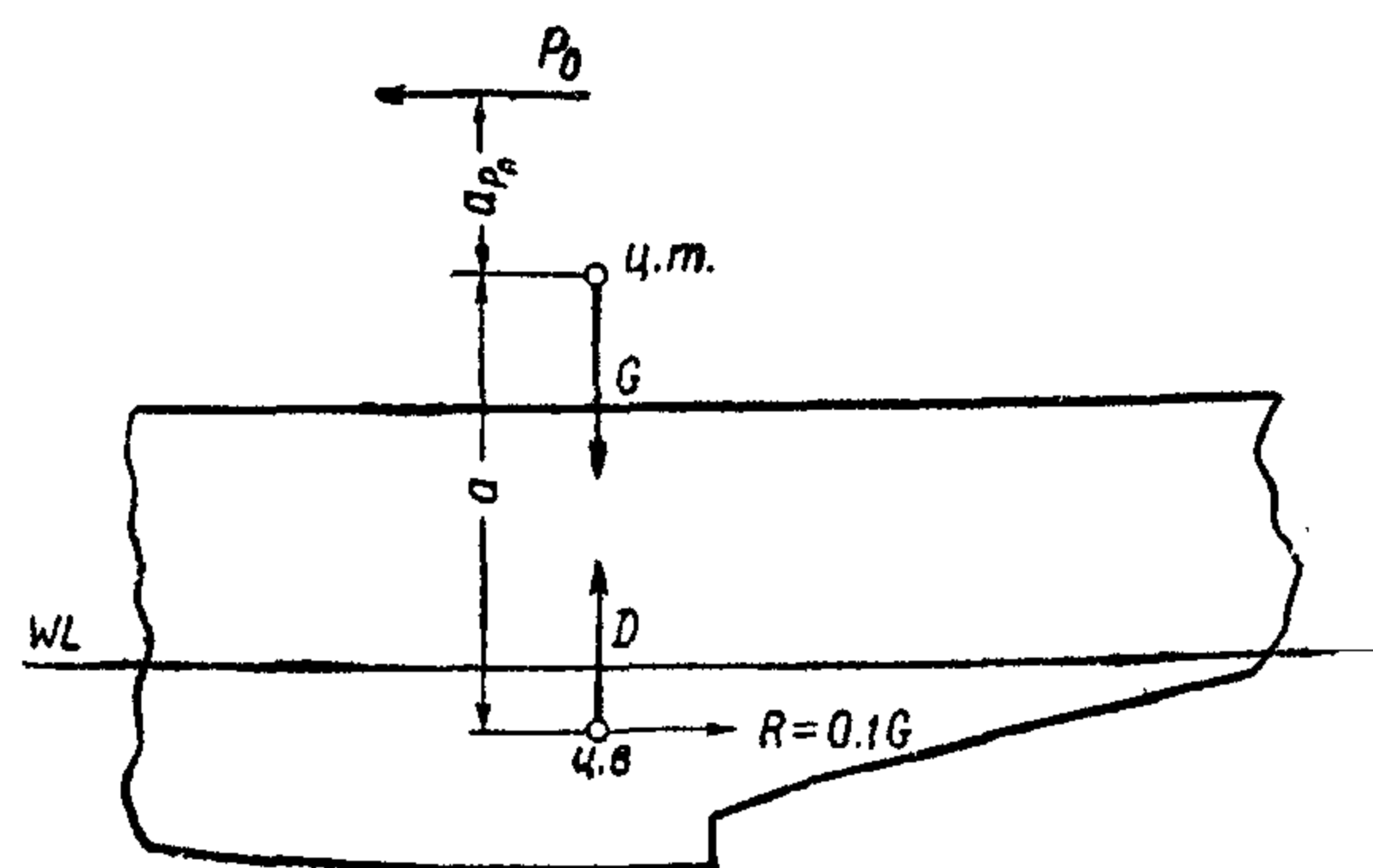
Определение грузовой и упорной ватерлинии

Грузовая ватерлиния — GWL соответствует спокойному плаванию гидросамолета при заданном весе G . Для ее определения с продольной диаграммы Рида снимают значения угла дифферента φ и перпендикуляров H_v и H_h , соответствующие $M = 0$ (фиг. 215). Отложив эти значения H_v и H_h на боку теоретического чертежа и соединив полученные точки прямой, находят GWL для заданной центровки и полетного веса.

Ватерлиния, принимаемая гидросамолетом при включении моторов, называется упорной. Упорная WL , принимаемая гидросамолетом при постепенной даче газа до полного, называется статической упорной ватерлинией.

Динамической упорной ватерлинией называется предельная WL , до которой отклоняется гидросамолет при мгновенной даче полного газа.

Для расчета момента, вызывающего дифферент на нос, при определении упорных WL гидродинамическое сопротивление условно принимается равным $0,1 G$ и приложенным в ц. в. (фиг. 217). Величина тяги винта на месте (P_0) определяется путем специального расчета (т. I, стр. 275).



Фиг. 217

Момент дифферента вычисляется по формуле:

$$M_{P_0} = 0,1aG + l_{P_0}P_0$$

(обозначения даны на фиг. 217).

Вычисленные таким образом значения момента M_{P_0} наносятся на продольную диаграмму Рида, как показано на фиг. 215. Угол дифферента, соответствующий восстанавливающему моменту, уравновешивающему момент M_{P_0} , определяет статическую упорную ватерлинию.

Угол дифферента φ_d , определяющий динамическую упорную ватерлинию, находится из условия равенства работ моментов M_P и M_D , т. е.

$$\int_{\varphi_{GWL}}^{\varphi} M_P d\varphi = \int_{\varphi_{GWL}}^{\varphi} M_D d\varphi.$$

Для определения φ_d строят кривые:

$$\int_{\varphi_{GWL}}^{\varphi} M_P d\varphi = \varphi_1(\varphi) \quad \text{и} \quad \int_{\varphi_{GWL}}^{\varphi} M_D d\varphi = \varphi_2(\varphi).$$

Точка пересечения этих кривых дает значение φ_d . С продольной диаграммы Рида снимают значения H_v и H_n , соответствующие значениям φ_d , по которым и строят на боковом виде гидросамолета динамическую упорную ватерлинию.

Влияние жидких грузов на продольную остойчивость

При дифференте на нос и корму ц. т. гидросамолета с переливающимся жидким грузом перемещается. В этом случае происходит уменьшение продольной метацентрической высоты на величину Δh_L , определяемую из уравнения:

$$\Delta h_L = \frac{\bar{\gamma}}{V} \Sigma I,$$

где ΣI — сумма моментов инерции площадей свободных поверхностей жидкости относительно поперечных осей, проходящих через их ц. т.,

$\bar{\gamma}$ — отношение веса единицы объема переливающейся в баках жидкости к весу единицы объема воды,

V — объемное водоизмещение гидросамолета.

Влияние изменения полетного веса гидросамолета на продольную остойчивость

В случае принятия на борт гидросамолета ряда сосредоточенных грузов:

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = Q,$$

новая метацентрическая высота будет:

$$h_{L1} = h_L + \frac{I_1 - I}{V_1} + \frac{Q}{G + Q} \left[T + \frac{\Delta T}{2} - z_r - h_L \right],$$

где h_L , I , T , z_r — метацентрическая высота, момент инерции площади WL относительно поперечной оси, проходящей через ее ц. т., осадка и координата ц. т. гидросамолета при весе G ,

h_{L1} , I_1 , V_1 — метацентрическая высота, момент инерции площади WL относительно поперечной оси, проходящей через ее ц. т., объемное водоизмещение при весе $G_1 = G + Q$,

ΔT — приращение осадки, соответствующее принятому грузу Q .

Для прикидок можно пользоваться формулой.

$$h_{L1} = h_L + \frac{Q}{G+Q}(T - z_T - h_L).$$

Поперечная остойчивость

Вычисление поперечной метацентрической высоты гидросамолета

Поперечным метацентром ($M_{цВ}$) называется Мц, соответствующий продольной оси наклона.

Поперечным метацентрическим радиусом ρ_B называется расстояние от ц. в. до $M_{цВ}$.

Поперечной метацентрической высотой h_B называется расстояние от ц. т. гидросамолета до $M_{цВ}$.

$$h_B = \rho_B - a.$$

Поперечный метацентр всегда следует определять при грузовом дифференте гидросамолета. Расчет при $\varphi = 0$, который иногда делают в целях упрощения вычислений, может иметь заметную погрешность.

Поперечный метацентрический радиус представляется в виде:

$$\rho_B = \frac{I_B}{V},$$

где I_B — момент инерции площади GWL относительно продольной оси проходящей через ее ц. т.,

V — соответствующее водоизмещение.

Момент инерции I_B представляется в виде:

$$I_B = \frac{1}{12} \sum (2y_{cp})^2 \Delta x.$$

Значения y_{cp} для данной WL берутся с теоретического чертежа лодки соответственно Δx (фиг. 213).

Вычисление поперечной метацентрической высоты лодки с поплавками. У летающей лодки с подкрыльными поплавками поперечная метацентрическая высота собственно лодки (без поплавков) отрицательна, т. е.

$$h_{Вл} = \rho_{Вл} - a = \frac{I_{Вл}}{V_{л}} - a < 0.$$

Здесь $V_{л}$ — водоизмещение лодки,

$I_{Вл}$ — момент инерции площади GWL лодки без поплавков.

Поперечный метацентрический радиус гидросамолета выражается формулой:

$$\rho_B = \frac{I_{Вл} + 2[b^2 S_{п} + I_{Вп}]}{V},$$

где $I_{Вп}$ — момент инерции площади GWL поплавок относительно его продольной оси,

b — расстояние между продольными осями гидросамолета и поплавок,

$S_{п}$ — площадь GWL поплавок,

V — объемное водоизмещение лодки с поплавками для данного полетного веса.

Величиной $I_{Вп}$ обычно, за ее малостью, пренебрегают и для расчетов пользуются выражением.

$$\rho_B = \frac{I_{Вл} + 2 b^2 S_{п}}{V}.$$

Момент инерции $I_{Вл}$ вычисляется по формуле:

$$I_{Вл} = \frac{1}{12} \sum (2y_{ср})^3 \Delta x.$$

Значения $y_{ср}$ для данной WL берутся с теоретического чертежа лодки, соответственно Δx . (фиг. 213).

Поперечная метацентрическая высота лодки с поплавками будет:

$$h_B = \rho_B - a.$$

Вычисление поперечной метацентрической высоты двухпоплавкового гидросамолета. Поперечный метацентрический радиус двухпоплавкового гидросамолета:

$$\rho_B = \frac{2 [I_B + b^2 S]}{V}.$$

Входящие в эту формулу величины можно определять так:

$$I_B \approx \frac{LB_{ср}^3}{12},$$

$$S = LB_{ср},$$

где L — длина GWL поплавок,

$B_{ср}$ — средняя ширина площади GWL .]

Метацентрическая высота

$$h_B = \rho_B - a.$$

(По английским данным¹ ошибки в осадке, которым соответствуют погрешности в водоизмещении в 5—10%, дают ошибку в величине поперечной метацентрической высоты соответственно в 1 и 2%).

Ошибки при определении угла диферента в $1/2$ и 1° дают ошибки в величине метацентрической высоты в 3 и 6%).

Построение поперечной диаграммы Рида для различных типов гидросамолетов

Расчеты поперечной остойчивости для упрощения производятся при постоянном угле диферента, равном углу грузового диферента при отсутствии крена. Производить расчет с целью сокращения вычислений при $\varphi = 0$ не рекомендуется, так как это может дать заметные погрешности.

Летающая лодка и однопоплавковый гидросамолет с несущими поплавками. Восстанавливающий момент гидросамолета M_D складывается из суммы моментов лодки (или поплавок) M_A и подкрыльных поплавков $M_{1п}$ и $M_{2п}$. Момент лодки и поплавок, выходящего из воды, отрицательный. Восстанавливающий момент может быть представлен в виде:

$$\begin{aligned} M_D = pD &= M_{2п} - M_{1п} + M_A = \\ &= D_{2п} b_2 - D_{1п} b_1 + D_A h_{Вл} \sin \theta, \end{aligned}$$

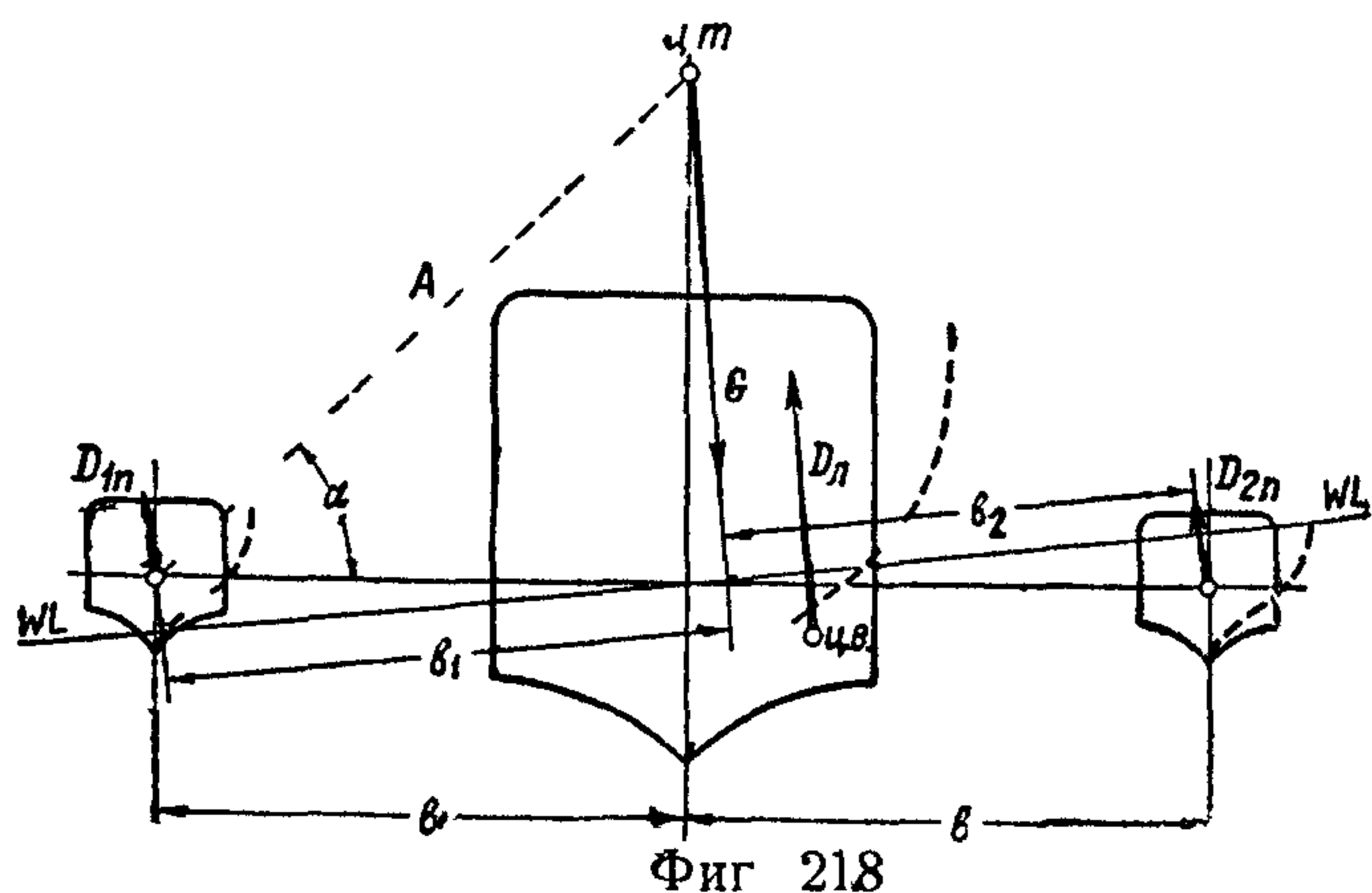
где $D_{1п}$ — водоизмещение выходящего из воды поплавок,

$D_{2п}$ — входящего в воду поплавок, и предположено, что $h_{Вл} < 0$.

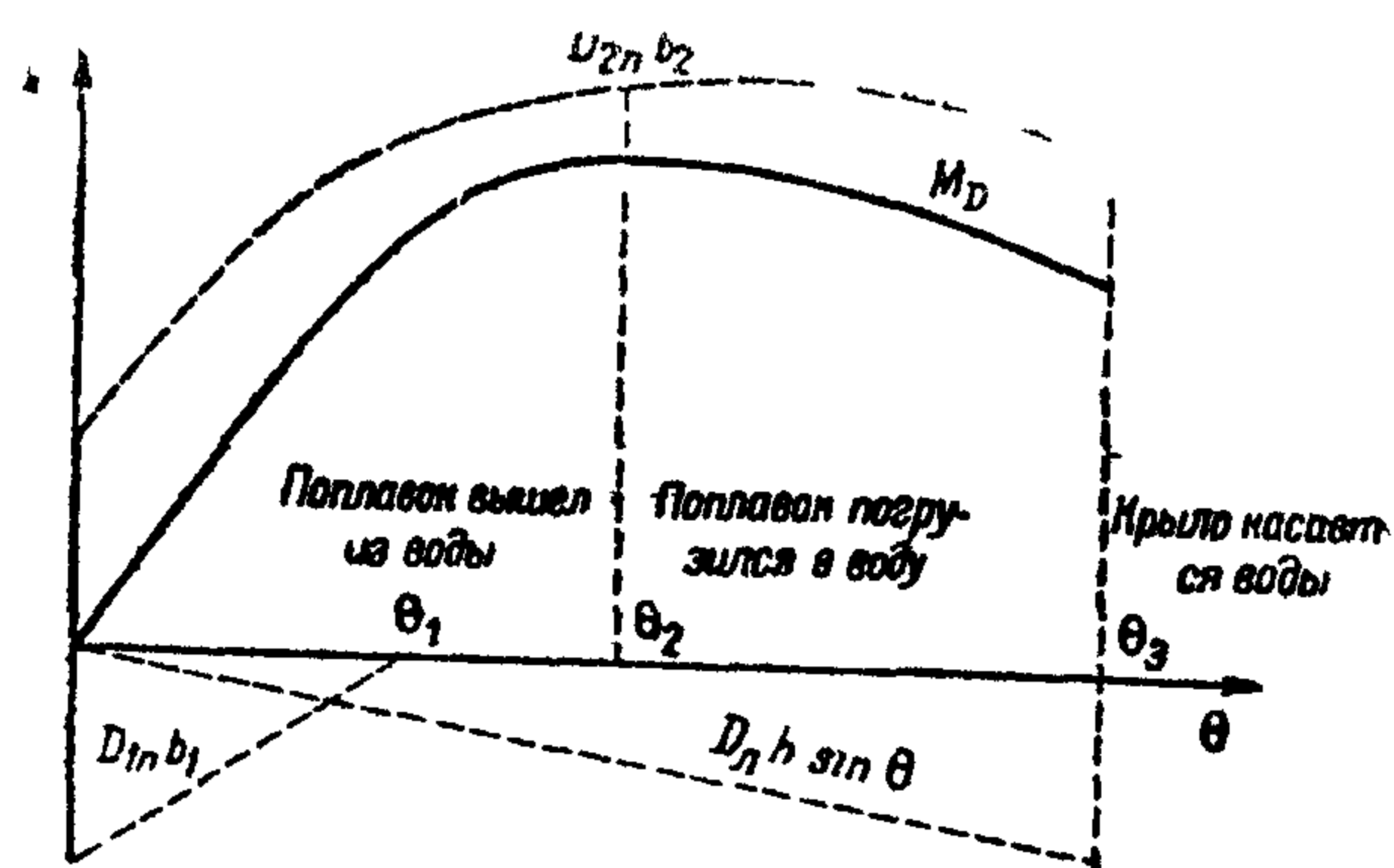
Для упрощения вычислений делают следующие допущения
 1) что $D_{1п}$ и $D_{2п}$ для всех углов крена θ приложены в ц. в поплавок, соответствующем его полному погружению (фиг 218),

2) что поперечная метацентрическая высота лодки $h_{вл} = \text{const}$ при различных углах крена

Задавшись рядом WL приблизительно через $1,5-3^\circ$ до угла крена соответствующего касанию крылом воды, определяют соответствующие им восстанавливающие моменты. Водоизмещения $D_{1п}$, D_0 и D_2 отсчитывают



Фиг 218



Фиг 219

по грузовым размерам лодки и поплавков, нанесенным на виде гидросамолета спереди. Плечи b_1 и b_2 берут или непосредственно с чертежа, или вычисляют по формулам (фиг 218)

$$b_1 = A \cos(\alpha - \theta), \quad b_2 = A \cos(\alpha + \theta)$$

Углы крена θ вычисляют при помощи формулы

$$\text{tg } \theta = \frac{T_2 - T_1}{2b},$$

где $2b$ — разнос поплавков, т. е. расстояние между их диаметрными плоскостями

T — осадка поплавков, отсчитываемая от НСГ лодки

Вычисления располагают в таблицу (таблица XLVIII)

Таблица XLVIII

θ°	Лодка				1 поплавок				2 поплавок				Суммарный момент M_D
	$T_л$	$D_л$	$\sin \theta$	$M_л$	T_1	$D_{1п}$	b_1	$M_{1п}$	T	$D_п$	b_2	$M_п$	

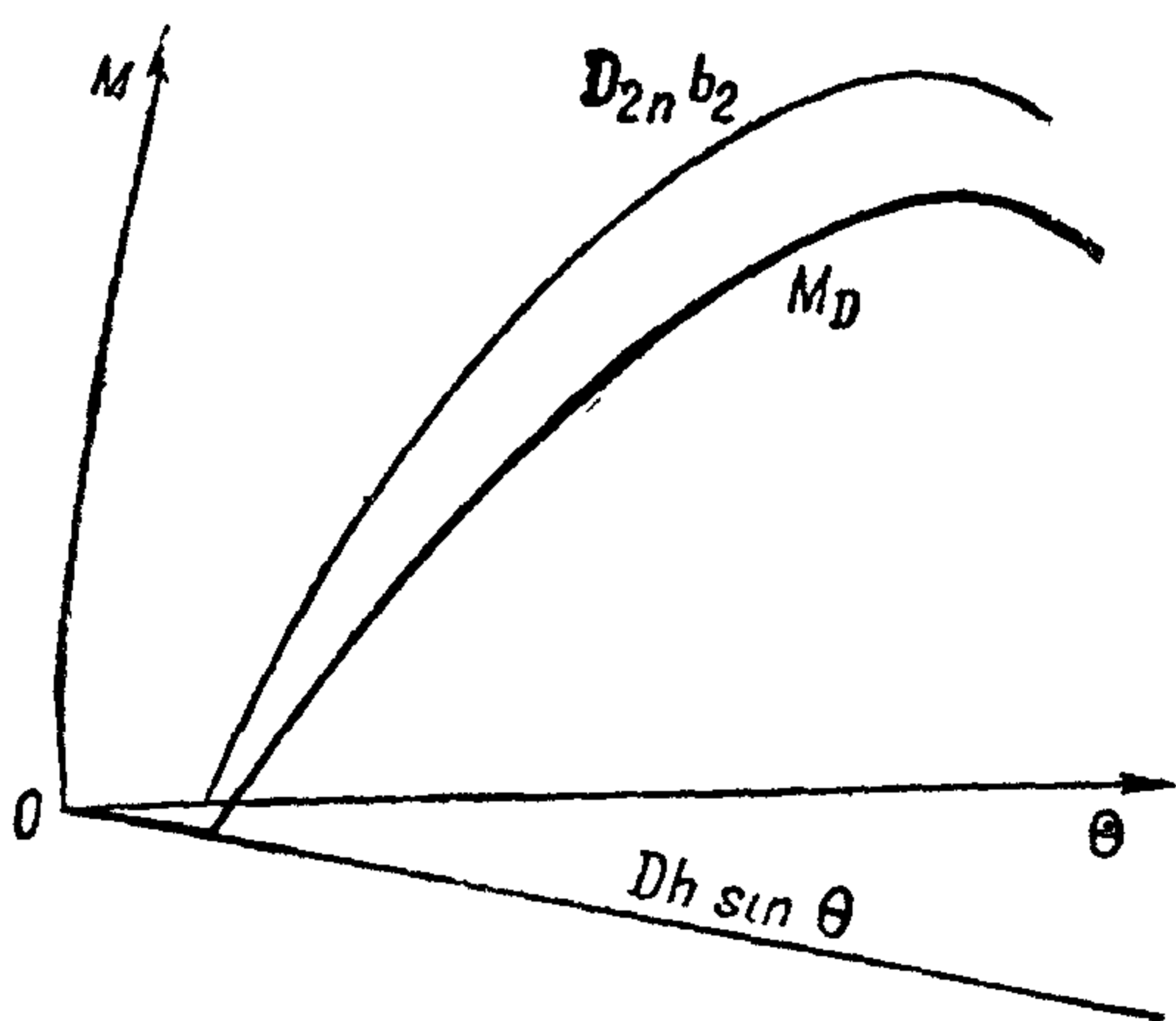
Кривая $M_D = f(\theta)$ поперечного восстанавливающего момента самолета по его углам крена называется поперечной диаграммой Рида (фиг 219). На этой кривой отмечают следующие углы крена: 1) угол выхода из воды поплавок θ_1 , 2) угол погружения поплавок θ_2 , 3) угол касания крылом воды θ_3 .

Летающая лодка с поддерживающими поплавками. Восстанавливающий момент гидросамолета может быть представлен в виде

$$M_D = D_{2п} b_2 + D_л h_{вл} \sin \theta$$

(принято, что $h_{вл} < 0$)

На фиг. 220 приведена характерная для этого случая диаграмма Рида. Весь расчет проводится по схеме предыдущего случая.



Фиг 220

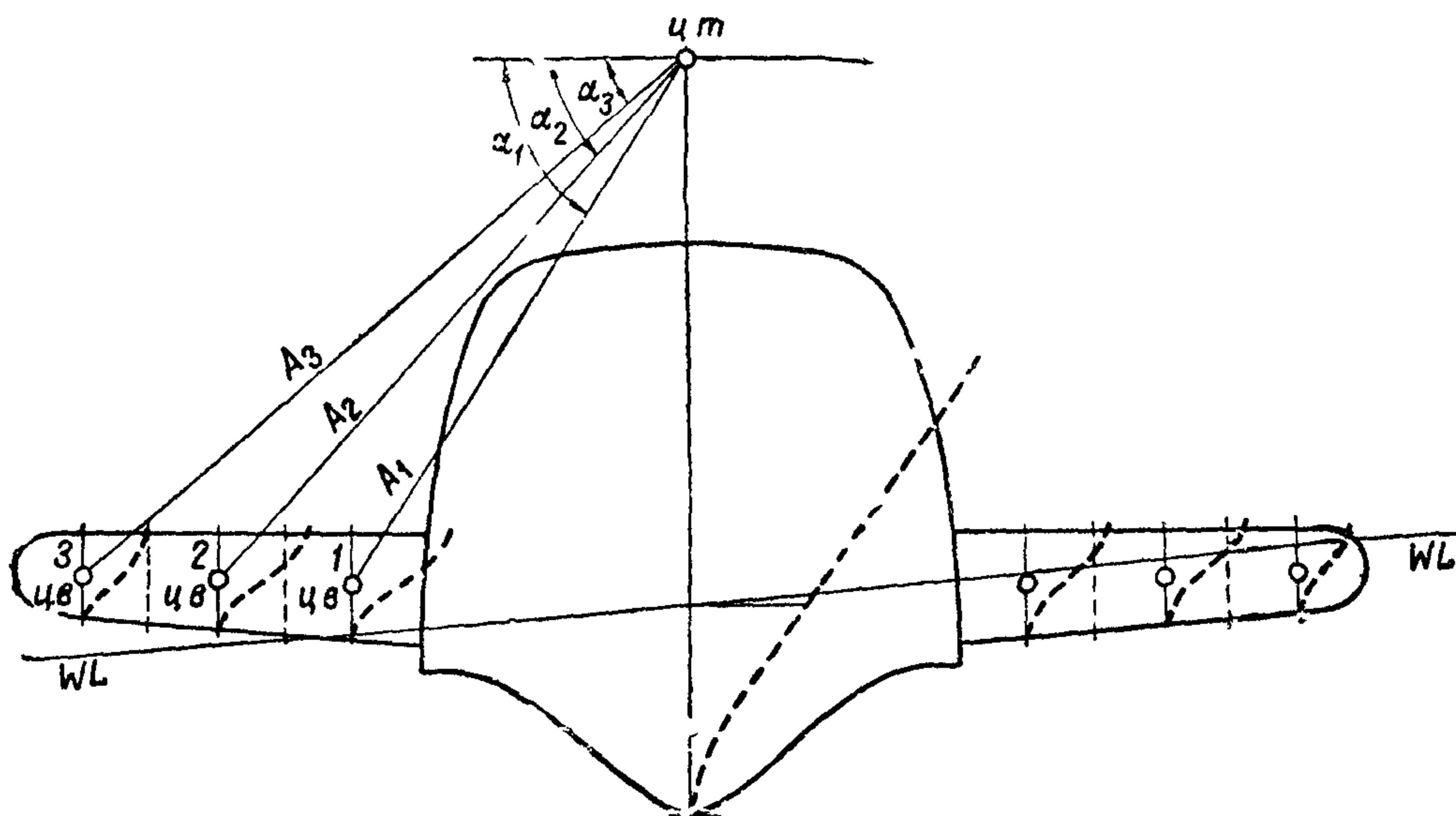
Двухпоплавковый или двухлодочный гидросамолет. Восстанавливающий момент вычисляется по формуле

$$M_D = D_2 b_2 - D_1 b_1$$

Лодка с жабрами. Каждая жабра разбивается плоскостями, параллельными диаметральной плоскости гидросамолета, на 3—4 отсека. Для каждого из них строится грузовой размер водоизмещения отсека, соответствующие его различным осадкам, откладываются на виде гидросамолета спереди, от середины отсека (фиг 221). Ватерлинии гидросамолета, соответствующие различным углам крена, подбираются совершенно так же, как при расчете продольной остойчивости с помощью масштаба Бонжана (стр 206). Восстанавливающие моменты гидросамолета вычисляются по формуле.

Ватерлинии гидросамолета, соответствующие различным углам крена, подбираются совершенно так же, как при расчете продольной остойчивости с помощью масштаба Бонжана (стр 206). Восстанавливающие моменты гидросамолета вычисляются по формуле.

$$M_D = M_{л} + \sum M_{\text{отсеков}}$$



Фиг 221

Суммирование идет по числу отсеков, на которые разбиты жабры гидросамолета.

Момент лодки вычисляется по формуле

$$M_{л} = D_{л} h_{Вл} \sin \theta,$$

где $D_{л}$ и $h_{Вл}$ соответственно водоизмещение и метацентрическая высота лодки. Последняя условно принимается постоянной для углов крена приблизительно до 12° .

Момент каждого отсека представляет произведение его водоизмещения на плечо, взятое с соответствующим знаком. Плечо определяется в предположении, что $ц$ в отсека совпадает с положением, соответствующим полному погружению отсека.

Расчет поперечной остойчивости гидросамолета по методу Дарньи

Метод Дарньи применяется, главным образом, в кораблестроении. В гидросамолестроении он может быть полезен при расчете поперечной

остойчивости лодки с жабрами (особенно если жабры имеют относительно небольшой размах)

В этом случае расчет поперечной устойчивости разбивается на три части

- 1) определение WL для различных углов крена,
- 2) построение метацентрической обертки и траектории ζ в, и
- 3) построение поперечной диаграммы Рида

Определение ватерлиний для различных углов крена

По грузовому размеру гидросамолета определяют WL для $\theta = 0$. Затем, через ζ т ее площади под заданным углом крена $\Delta\theta$ проводят WL'_1 (фиг 222), снимают с теоретического чертежа лодки ее координаты и вычисляют координату f ζ т A ее площади, в точке A к WL'_1 восстанавливают перпендикуляр AB , находят точку пересечения его B с WL_0 , делят отрезок OB точкой O_1 пополам и проводят через эту точку WL_1 параллельно WL'_1 . Ватерлиния WL_1 и является искомой, соответствующей углу крена $\Delta\theta$. Для построения следующей WL , соответствующей крену $\theta_2 = 2\Delta\theta$, весь процесс повторяется снова, только за исходную WL теперь берется не WL_0 , а WL_1 , и т. д.

Построение метацентрической обертки и траектории центров величины. Вычисляются моменты инерции площадей найденных WL_0, WL_1, WL_2 , относительно продольных осей, проходящих через их ζ т. Для упрощения эти вычисления обычно производят для WL_0, WL'_1, WL'_2 , ζ т площадей, которых уже были найдены в процессе подбора WL . Для каждой площади WL метацентрический радиус ρ_B будет равен

$$\rho_B = \frac{I_B}{V}$$

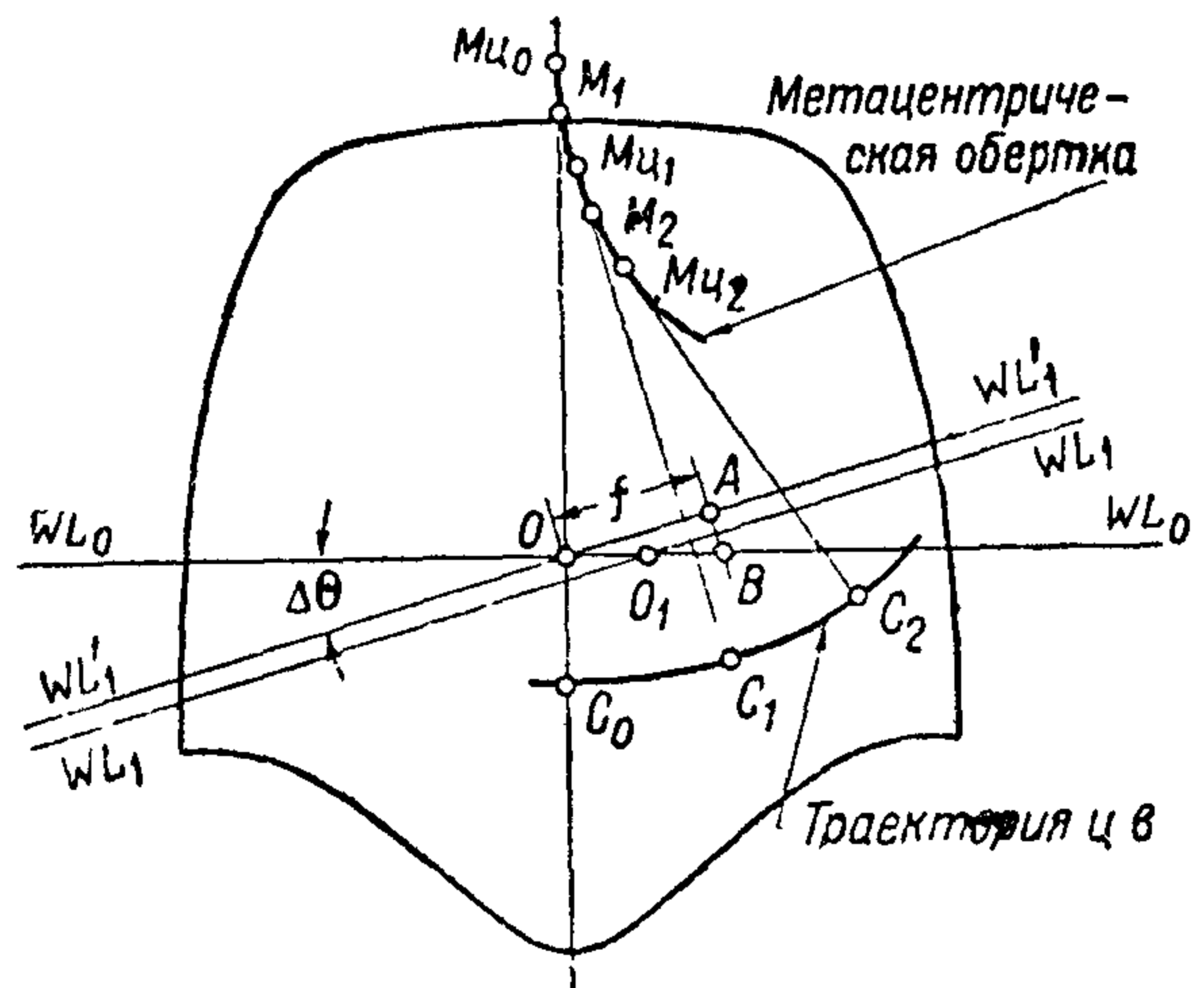
Далее поступают следующим образом: на оси симметрии (фиг 222) наносят положение $M_{\zeta B}$ и ζ в C_0 для WL_0 . От точки C_0 вверх по оси симметрии откладывают отрезок

$$C_0M'_1 = \frac{\rho_{B0} + \rho_{B1}}{2}$$

Описывают из точки M'_1 , как из центра, радиусом $C_0M'_1$ дугу $\Delta\theta$, полученную точку C_1 принимают за ζ в, соответствующий WL_1 , откладывая от точки C_1 по радиусу $C_1M'_1$ метацентрический радиус ρ_{B1} наносят положение $M_{\zeta 1}$, откладывают отрезок

$$C_1M'_2 = \frac{\rho_{B1} + \rho_{B2}}{2},$$

из точки M'_2 , как из центра, описывают радиусом $C_1M'_2$ дугу $\Delta\theta$, получают ζ в C_2 , соответствующий WL_2 и т. д. Соединяя плавной кривой точки $M_{\zeta 0}, M_{\zeta 1}, M_{\zeta 2}$. . , получают метацентрическую обертку



Фиг 222

Определение восстанавливающих моментов и построение поперечной диаграммы Рида. С чертежа, на котором были построены ц. в.

$$C_0, C_1, C_2, \dots \text{ для } WL_0, WL_1, WL_2, \dots$$

снимают соответствующие им плечи. Умножая их на вес самолета G , получают значения восстанавливающих моментов.

Влияние жидких грузов на поперечную остойчивость

В случае переливания горючего или смазочного в баках при крене гидросамолета поперечная метацентрическая высота уменьшается на величину:

$$\Delta h_B = \frac{\bar{\gamma}}{V} \sum I_{Bc},$$

где $\sum I_{Bc}$ — сумма моментов инерции площадей свободных поверхностей горючего относительно продольных осей, проходящих через их ц. т.,

$\bar{\gamma}$ — отношение веса единицы объема переливающейся в баках жидкости к весу единицы объема воды.

Влияние изменения веса гидросамолета на его поперечную остойчивость

При изменении веса дополнительным нагружением сосредоточенными нагрузками гидросамолета новые значения ρ_B и h_B вычисляются по формулам, аналогичным формулам стр. 208.

Расчет поперечной остойчивости гидросамолета при ветре и на волне

Существующий метод приближенного расчета поперечной остойчивости гидросамолета при ветре и на волне основан на вычислении поперечной остойчивости обычным способом при наличии действующего на гидросамолет момента крена от ветра. Момент крена от ветра определяется помощью продувок модели гидросамолета в аэродинамической трубе или по эмпирическим формулам (стр. 63—71).

Для определения моментов крена от ветра продувка производится в присутствии гофрированных экранов с трохoidalным профилем, представляющим профиль волны в масштабе гидросамолета, заданном техническими требованиями. Для определения наиболее опасных в смысле остойчивости положений гидросамолета относительно ветра производится продувка его модели в присутствии плоского экрана при углах дрейфа от 0 до 360°.

Предельным конструктивным углом крена θ_k называется угол крена, при котором крыло гидросамолета касается поверхности воды.

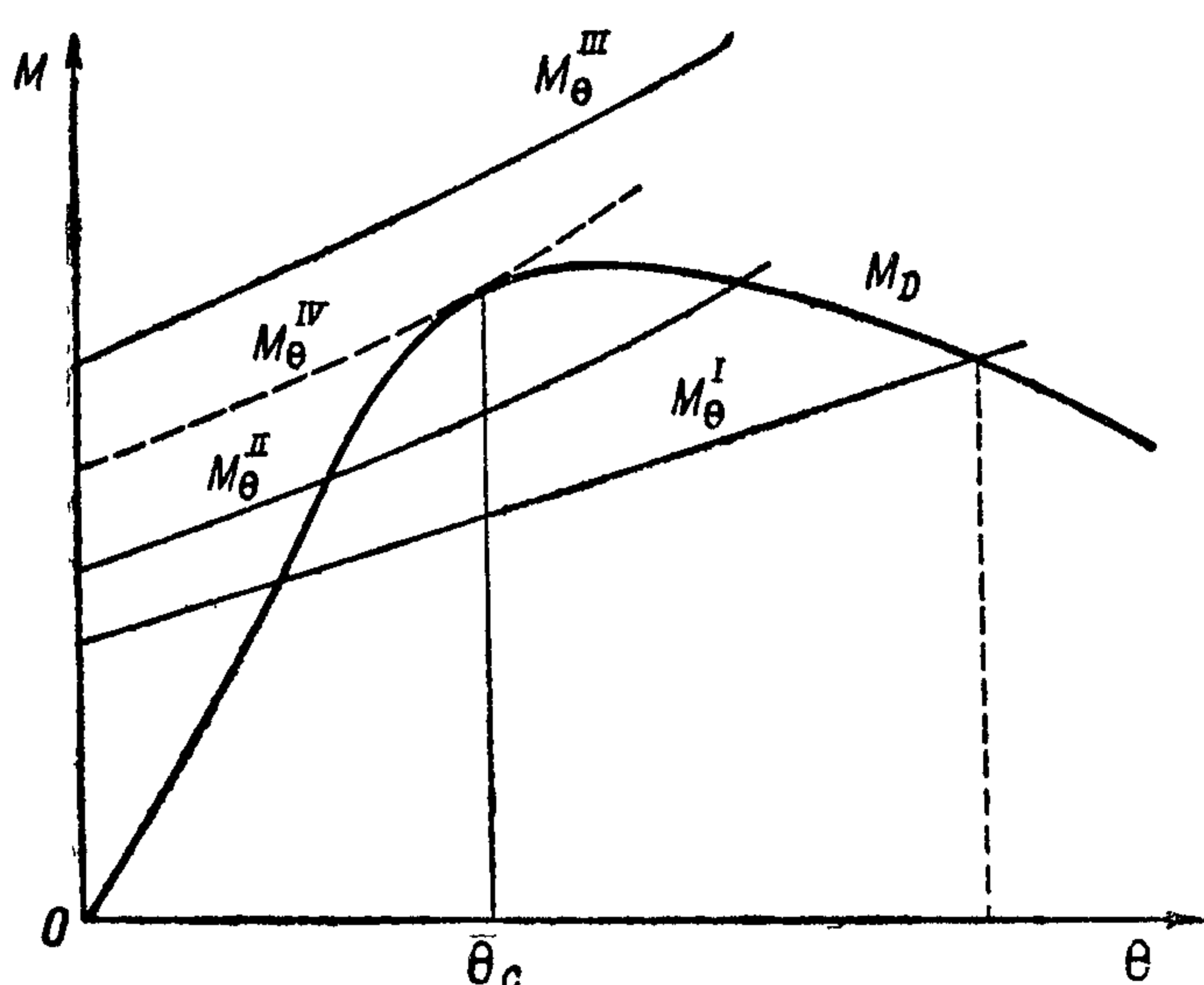
Предельной скоростью ветра W_c , дующего с постоянной скоростью, называется такая скорость, которой соответствует кривая кренящих моментов, касающаяся кривой поперечных восстанавливающих моментов.

Угол крена θ_c , соответствующий точке касания этих кривых, называется предельным статическим углом крена.

Для определения W_c и θ_c поступают следующим образом:

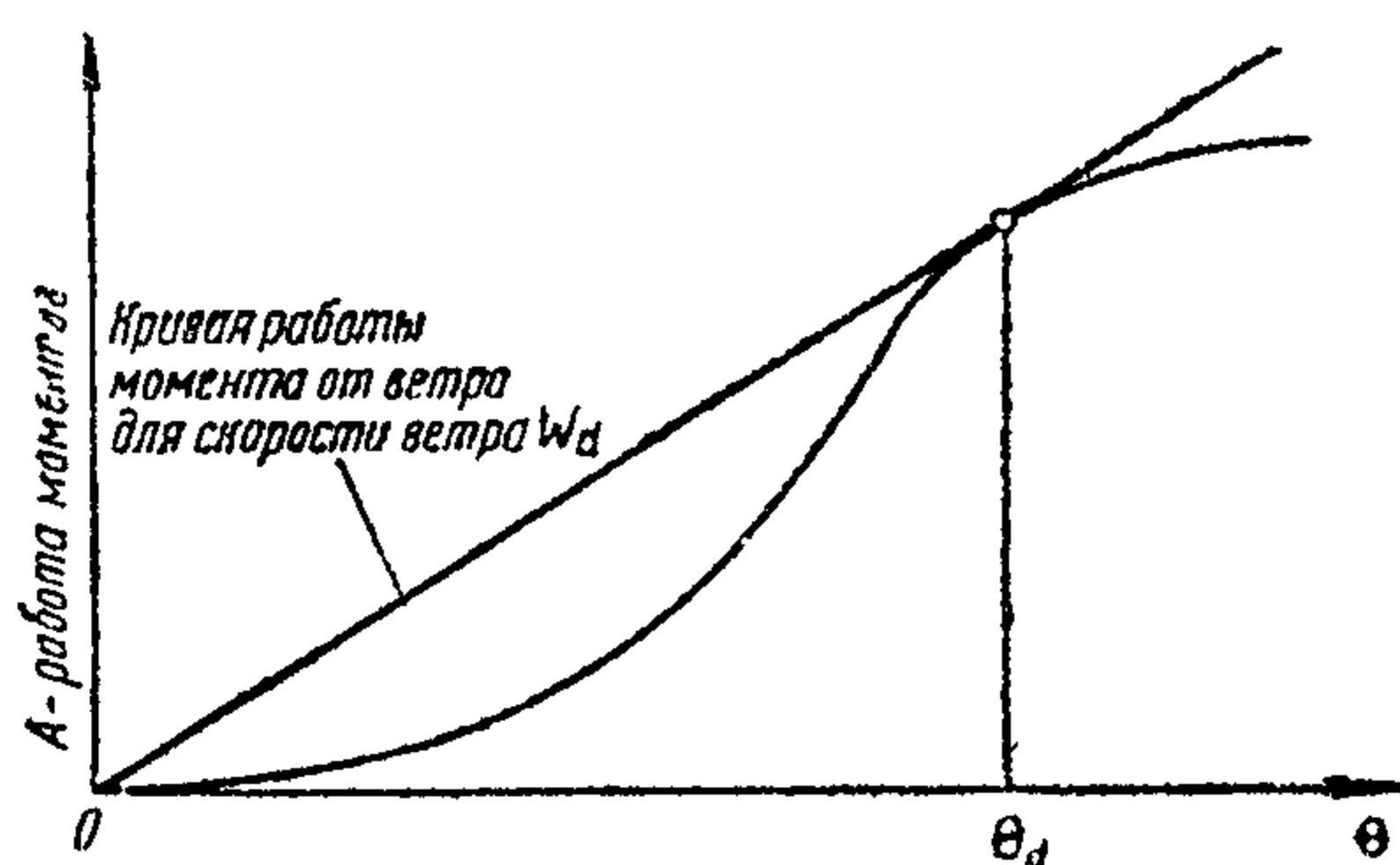
задавшись рядом постоянных скоростей ветра, по полученным результатам продувки модели вычисляют моменты крена от ветра; нанеся их значения на поперечную диаграмму Рида (фиг. 223), путем подбора определяют W_c и θ_c . Если при этом окажется, что $\theta_c > \theta_k$, то за предельный статический угол крена принимают угол θ_k , и определяют соответствующую ему скорость ветра.

Предельной скоростью ветра W_d , дующего порывами, называется такая скорость, которой соответствует кривая работ моментов крена, касающаяся кривой работы поперечных восстанавливающих моментов. Угол крена θ_d , соответствующий точке касания этих кривых, называется предельным динамическим углом крена. Значения W_d и θ_d определяются так же, как определялись значения W_c и θ_c . Разница заключается в том, что вместо кривых моментов крена и восстанавливающих моментов берутся соответствующие им интегральные кривые (фиг. 224):



Фиг. 223

$$\int_0^{\theta} M_{\text{ветра}} d\theta = \phi_1(\theta); \quad \int_0^{\theta} M_D d\theta = \phi_2(\theta).$$



Фиг. 224

В случае, если $\theta_d > \theta_k$ — предельный динамический угол крена принимают равным углу θ_k и определяют соответствующую ему скорость ветра.

Поляра устойчивости

Для характеристики устойчивости гидросамолета при всевозможных направлениях и величинах опрокидывающих моментов строят поляры устойчивости.

В виду крайней громоздкости вычислительной работы, связанной с расчетом углов крена и дифферента гидросамолета, соответствующих произвольному приложенному моменту, материал, необходимый для построения поляры устойчивости, получается путем специальных гидростатических испытаний моделей гидросамолетов (стр. 57).

Действующий на модель опрокидывающий момент, очевидно, можно изобразить вектором, параллельным плоскости действующей WL (фиг. 203). Этот вектор разлагают на две составляющих, одна из которых направлена по оси Oz , а другая действует в плоскости CG . Вследствие малости углов крена и дифферента (которые редко превосходят $10-12^\circ$), для упрощения вычислений, обычно, считают составляющую момента в плоскости CG равной самому моменту. Действующий на модель момент задается своей абсолютной величиной и углом ϕ между проекцией момента на CG и осью Oy .

При испытаниях определяют углы дифферента φ и крена θ , соответствующие каждому данному моменту M . Вычисляются угол ω , координирующий ось вращения модели (фиг. 203), и угол γ наклона модели относительно этой оси:

$$\text{tg } \omega = \frac{\text{tg } \theta}{\text{tg } \varphi},$$

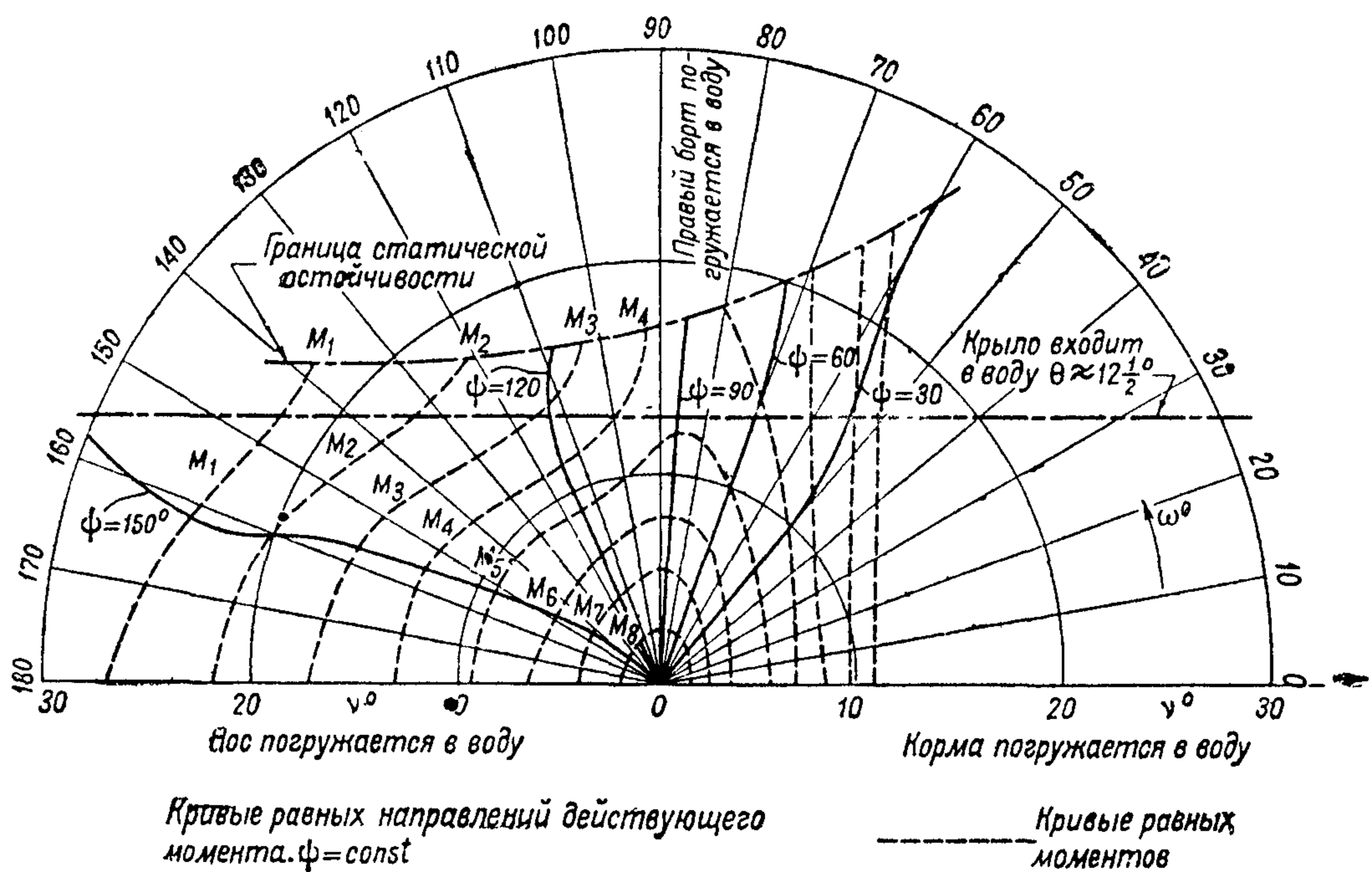
$$\text{tg } \gamma = \pm \sqrt{\text{tg}^2 \varphi + \text{tg}^2 \theta}.$$

В последней формуле знак выбирается на основании соотношений:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= \cos \omega \operatorname{tg} \gamma, \\ \operatorname{tg} \theta &= \sin \omega \operatorname{tg} \gamma. \end{aligned}$$

Построение полярной диаграммы устойчивости производится следующим образом:

выбирается полюс O и полярная ось OP ; от полюса под углом ω к полярной оси откладываются радиусы-векторы, длина которых в некотором масштабе представляет значения углов наклона γ ; точки, соответствующие постоянным значениям абсолютной величины опрокидывающего момента, соединяются кривыми (пунктирные кривые фиг. 225); затем



Фиг. 225

строятся кривые, соответствующие постоянным значениям угла φ (соединяя точки диаграммы для данных значений φ — сплошные кривые фиг. 225); на полярной диаграмме наносятся границы статической устойчивости гидросамолета, т. е. углы ω и γ , соответствующие максимальным опрокидывающим моментам, которые модель может держать при каждом данном φ , и граница допустимых наклонов гидросамолета (эта граница, например, определяется началом погружения крыла в воду, началом заливания проницаемых для воды частей гидросамолета и т. д.).

Поверочный расчет непотопляемости

Поверочный расчет непотопляемости летающей лодки

Поверочный расчет непотопляемости производится при выбранном расположении водонепроницаемых переборок, для заданных техническими требованиями случаев затопления отсеков. При расчете принимается, что вода заполняет поврежденные отсеки и свободно сообщается с забортовой водой. Для каждого расчетного случая затопления отсеков строится продольная диаграмма Рида и определяются грузовая и упорная ватерлинии. Все расчеты производятся обычным способом; водоизмещение и гидростатические моменты затопленных отсеков при этом исключаются.

Результаты расчета сводятся в таблицу (таблица XLIX).

Таблица XLII.

Сводка результатов расчета непотопляемости

Случай затопления		1	2	3			<i>n</i>
№ шпангоутов, ограничивающих затопляемые отсеки							
GWL	φ_0						
	H_v						
	H_h						
	Продольная метацентрическая высота						
Статическая упорная WL	Момент тяги						
	φ_c						
	H_v						
	H_h						
Динамическая упорная WL	φ_d						
	H_v						
	H_h						

Поверочный расчет непотопляемости двухпоплавкового гидросамолета

При затоплении отсеков одного из поплавков гидросамолет принимает одновременно крен и диферент. Для определения этих углов поступают следующим образом:

1) задаются рядом углов диферента (обычно берут 5 значений), для каждого из них с помощью масштаба Бонжана строят грузовые размеры поплавков — пробитого и непробитого (фиг. 226),

2) для этих же диферентов вычисляют восстанавливающие моменты относительно продольной оси гидросамолета (параллельной СГ), вычисления располагают в таблицу (таблица L), по данным таблицы строят семейства кривых $M_{\theta_{сам}} = f_1(\theta)$, $T_{1п} = f_2(\theta)$ и $T_{2п} = f_3(\theta)$ для выбранных значений φ (фиг. 227),

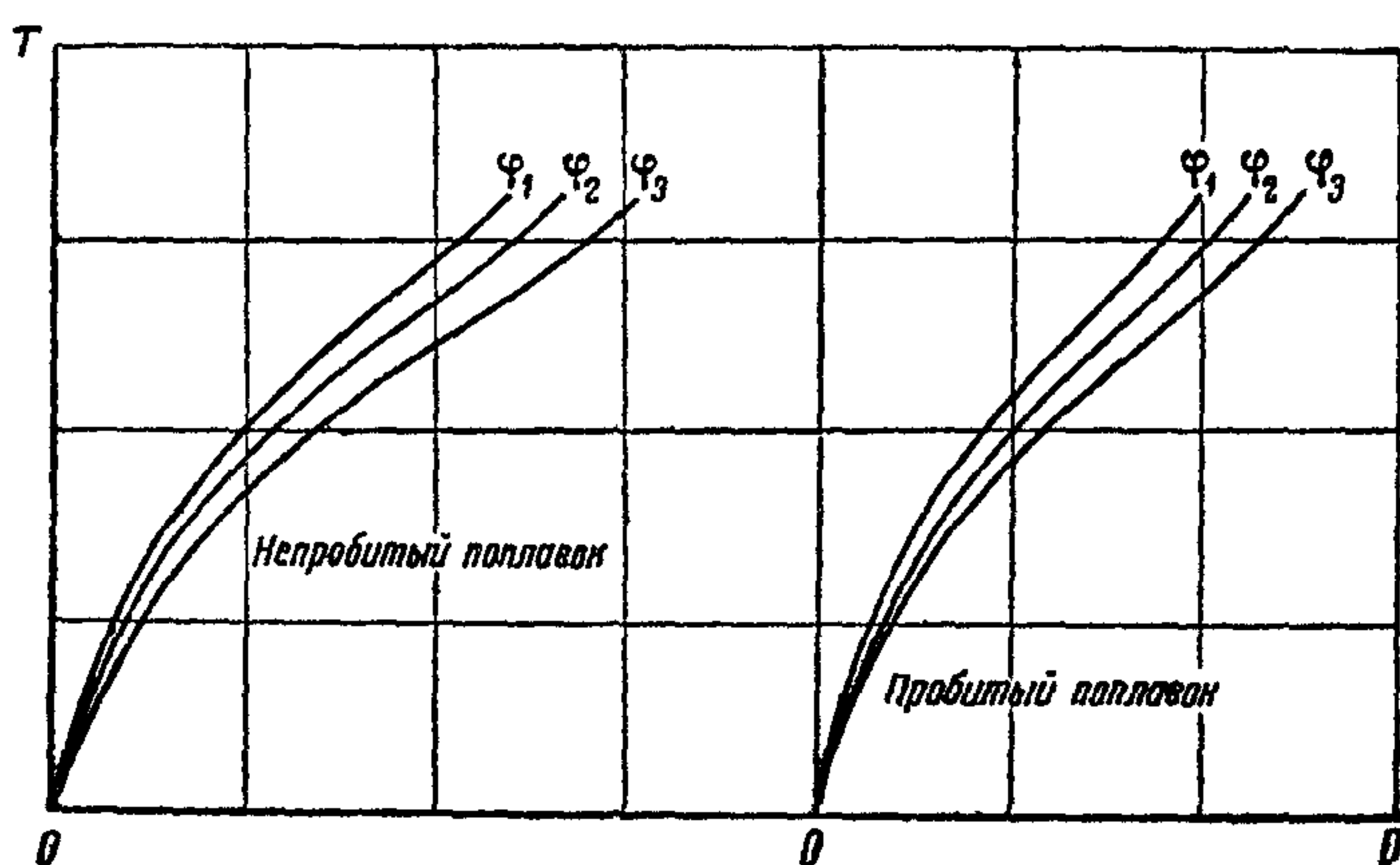
3) с графика фиг. 227 снимаются для каждого значения φ значения θ , $T_{1п}$ и $T_{2п}$, соответствующие $M_{\theta_{сам}} = 0$,

4) определяют моменты относительно поперечной оси, перпендикулярной к диаметральной плоскости гидросамолета, соответствующие полученным значениям θ , с помощью масштаба Бонжана для каждого из поплавков вычисляют абсциссы ρ в $x_{св1п}$ и $x_{св2п}$, затем определяют моменты

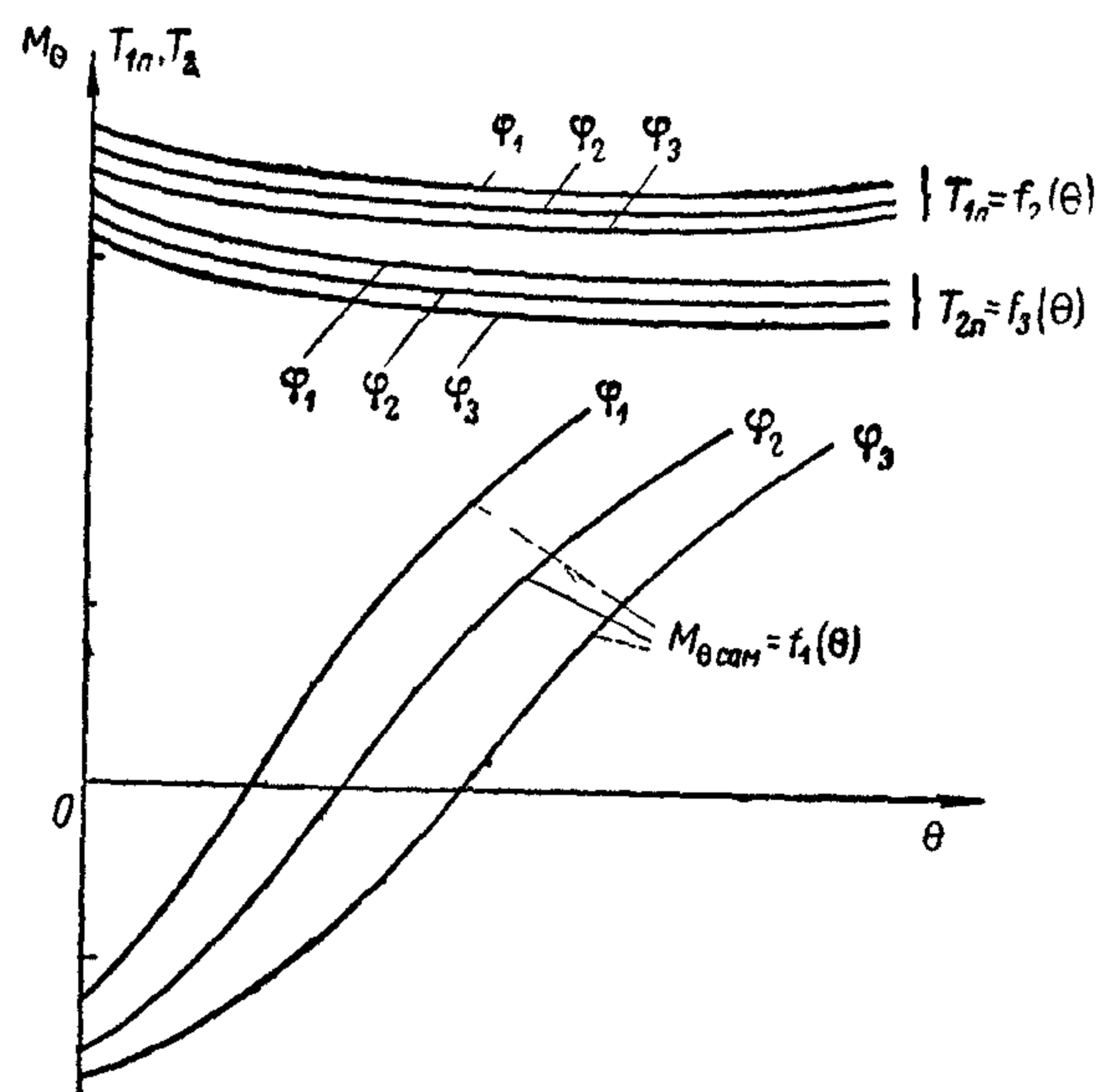
Таблица Л

Диферент	φ ₁				φ ₂			
	θ ₁	θ ₂	θ ₃	θ ₄	θ ₁	θ ₂	θ ₃	θ ₄
Крен								
Осадка первого поплавка								
Осадка второго поплавка								
Координаты $z_{c1п} \approx T_{1п} \mu$								
ц. в. поплавков $z_{c2п} \approx T_{2п} \mu$								
$D_{1п} \cos \varphi$								
$D_{2п} \cos \varphi$								
$\rho_{\theta 1п} = b \cos \theta + (z_0 - z_{c1п}) \sin \theta$								
$\rho_{\theta 2п} = b \cos \theta + (z_0 - z_{c2п}) \sin \theta$								
$M_{1п} = D_{1п} \rho_{\theta 1п} \cos \varphi$								
$M_{2п} = D_{2п} \rho_{\theta 2п} \cos \varphi$								
$M_{\theta \text{сам}} = M_{1п} - M_{2п}$								

Для поплавков $\mu = 0,64$; для лодок $\mu = 0,7$.



Фиг. 226



Фиг. 227

дифферента по формулам

$$M_{\varphi_{\text{сам}}} = M_{\varphi_{1п}} + M_{\varphi_{2п}},$$

$$M_{\varphi_{1п}} = D_{1п} p_{\varphi_{1п}} \cos \theta,$$

$$M_{\varphi_{2п}} = D_{2п} p_{\varphi_{2п}} \cos \theta,$$

где

$$p_{\varphi_{1п}} = x_0 - x_{c\varphi_{1п}} - a_{1п} \operatorname{tg} \varphi,$$

$$p_{\varphi_{2п}} = x_0 - x_{c\varphi_{2п}} - a_{2п} \operatorname{tg} \varphi,$$

$$a_{1п} = z_0 - z_{c1п},$$

$$a_{2п} = z_0 - z_{c2п},$$

$$z_{c1п} = \mu T_{1п}, \quad z_{c2п} = \mu T_{2п}$$

Вычисления располагают в таблицу (таблица LI) и строят графики $M_{\varphi_{\text{сам}}} = f_1(\varphi)$, $\theta = f_2(\varphi)$, $T_{1п} = f_3(\varphi)$ и $T_{2п} = f_4(\varphi)$

Таблица LI

Первый поплавок			Второй поплавок
Дифферент	φ_1	φ_2	
Крен θ			
$x_{c\varphi}$			
z_c			
a			То же, что для первого поплавка
p_{φ}			
D			
M_{φ}			

Пересечение кривой $M_{\varphi_{\text{сам}}} = f_1(\varphi)$ с осью φ определяет значения φ , θ , $T_{1п}$ и $T_{2п}$ для режима плавания гидросамолета на спокойной поверхности воды. Если кривая $M_{\varphi_{\text{сам}}} = f_1(\varphi)$ пересекается с осью φ при значении φ , не допускаемом условиями безопасного плавания, то гидросамолет не удовлетворяет условиям непотопляемости.

БИБЛИОГРАФИЯ

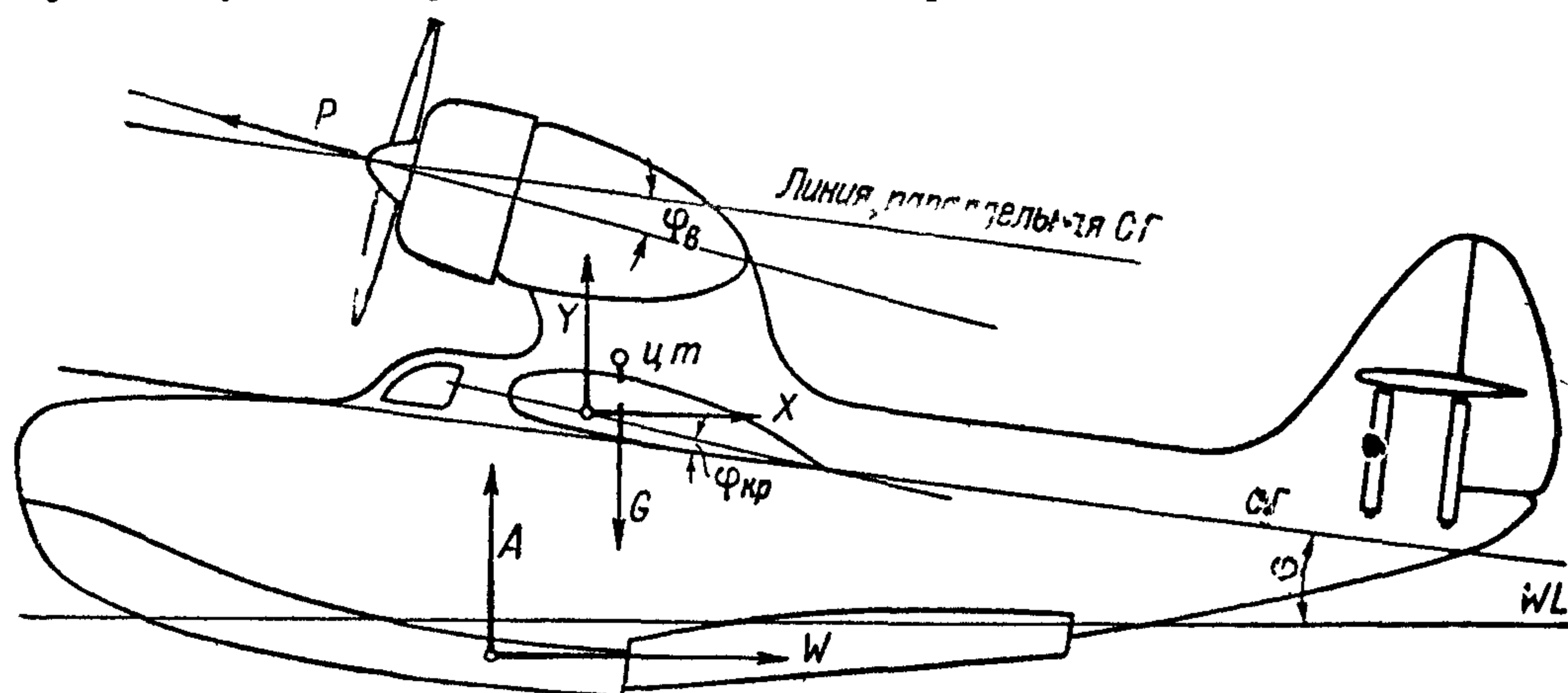
- 1 Cushing R K, Crouch A S, Angel R W — Static stability tests of six full scale twin float seaplanes — ARC R and M 1935, N 1653
- 2 Forster E — „Johow-Foerster Hilfsbuch für den Schiffbau v I — B J Sprunge 1928, 990 p
- 3 Косоуров К Ф и Дементьев М А — Влияние волны и ветра на кренящий момент гидросамолетов — „Техника возд флота“, 1932, № 3, стр 217—231, 15 илл
- 4 Kohler M — Luftkräfte und Luftkraftmomente an einem Seeflugzeug auf dem Wasser — „ZFM“ 1933, N 16, p 442—446, 8 илл
- 5 Croseck H — Beitrag zur Frage der Schwimmstabilität der Wasserflugzeuge — „Schiffbau“ 1933, N 17, 19, 21, 23, см приложение N 6, p 1—6, 9 илл, N 7, p 1—6, 11 илл, N 8, p 1—10, 29 илл, N 9, p 1—10, 15 илл
- 6 Косоуров К Ф — Курс гидроавиации Л — М 1937, 498 стр

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГИДРОСАМОЛЕТА

В гидродинамический расчет входят:
 расчет времени и длины разбега гидросамолета при взлете и пробега при посадке;
 расчет предельного для отрыва от воды веса гидросамолета;
 оценка эффективности органов управления гидросамолета при разбеге и расчет наиболее выгодной для разбега балансировки гидросамолета.

Дифференциальные уравнения движения

Силы, действующие на гидросамолет при разбеге, следующие (фиг. 228).
 а) вес гидросамолета G , приложенный в его центре тяжести,
 б) тяга винтов P ,
 в) аэродинамическая сила, составляющими которой являются: подъемная сила Y и аэродинамическое сопротивление X ,
 г) гидродинамическая сила, составляющими которой являются гидродинамическая подъемная сила A (включающая в себя и гидростатическую подъемную силу) и гидродинамическое сопротивление W .



Фиг. 228

Момент силы, действующей на гидросамолет, считается положительным, если он стремится наклонять гидросамолет на нос.

Предполагается, что движение гидросамолета происходит в плоскости его симметрии. Уравнения движения гидросамолета представляются в виде:

$$m \frac{dV_x}{dt} = P \cos(\varphi + \varphi_B) - X - W,$$

$$m \frac{dV_y}{dt} = P \sin(\varphi + \varphi_B) + Y + A - G = A - \Delta,$$

$$I_B \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -Pa_P - M_a - M_r.$$

Здесь m — масса гидросамолета,

I_B — момент инерции гидросамолета относительно поперечной оси, проходящей через ц. т.,

M_a — момент аэродинамических сил относительно той же оси,

M_r — момент гидродинамических сил относительно той же оси,

a_P — плечо силы тяги относительно той же оси,

P — сила тяги,

φ — угол дифферента,

φ_B — угол линии тяги со СГ,

G — вес гидросамолета,

V_x, V_y — проекции скорости ц. т. гидросамолета на оси координат.

Величина

$$\Delta = G - Y - P \sin(\varphi + \varphi_B)$$

носит название нагрузки на воду.

Действительное движение гидросамолета при разбеге представляет весьма сложное явление, природа которого в настоящее время еще полностью не исследована. Дополнительные усложнения вносит ряд факторов, например, порывы ветра, состояние водной поверхности, манера управления самолетом, свойственная данному пилоту и т. д. Требования наибольшей возможной простоты расчета с необходимой для практических целей точностью заставляют при разработке метода расчета принять ряд упрощающих гипотез.

Гипотеза стационарности. Время разбега гидросамолета разбивается на последовательность бесконечно малых интервалов dt , в течение каждого из которых движение предполагается равномерным, происходящим со средней, для данного интервала, скоростью V_i .

Все аэро- и гидродинамические силы, действующие при этом на гидросамолет, а также его осадки и углы диферента принимаются равными соответствующим их значениям при равномерных, поступательных движениях гидросамолета со скоростями V_i . Отбрасывается влияние ускорения на аэро- и гидродинамические силы, в частности, пренебрегают присоединенной инерцией гидросамолета. Опыты, произведенные в Англии¹ с двухпоплавковым гидросамолетом Fairy III, гидродинамическое сопротивление которого замерялось в натуре, как при равномерных движениях его с различными скоростями, так и при разбеге, показывают, что при одинаковых углах диферента его действительное гидродинамическое сопротивление, начиная с критической скорости, приблизительно на 10% меньше сопротивления, получаемого по гипотезе стационарности (фиг. 229).

Другие основные допущения. Пренебрегают вертикальной скоростью V_y , вертикальным ускорением $\frac{dV_y}{dt}$ и угловым ускорением $\frac{d^2\varphi}{dt^2}$.

Первые два допущения могут повлечь некоторую погрешность лишь перед выходом на редан, так как в этот момент всплывание центра тяжести резко возрастает. Для всех прочих моментов движения они кажутся вполне естественными. Для обоснования

допущения $\frac{d^2\varphi}{dt^2} = 0$ еще не имеется необходимых данных.

При сделанных допущениях основные уравнения движения гидросамолета приобретают вид:

$$m \frac{dV_x}{dt} = P \cos(\varphi + \varphi_B) - X - W,$$

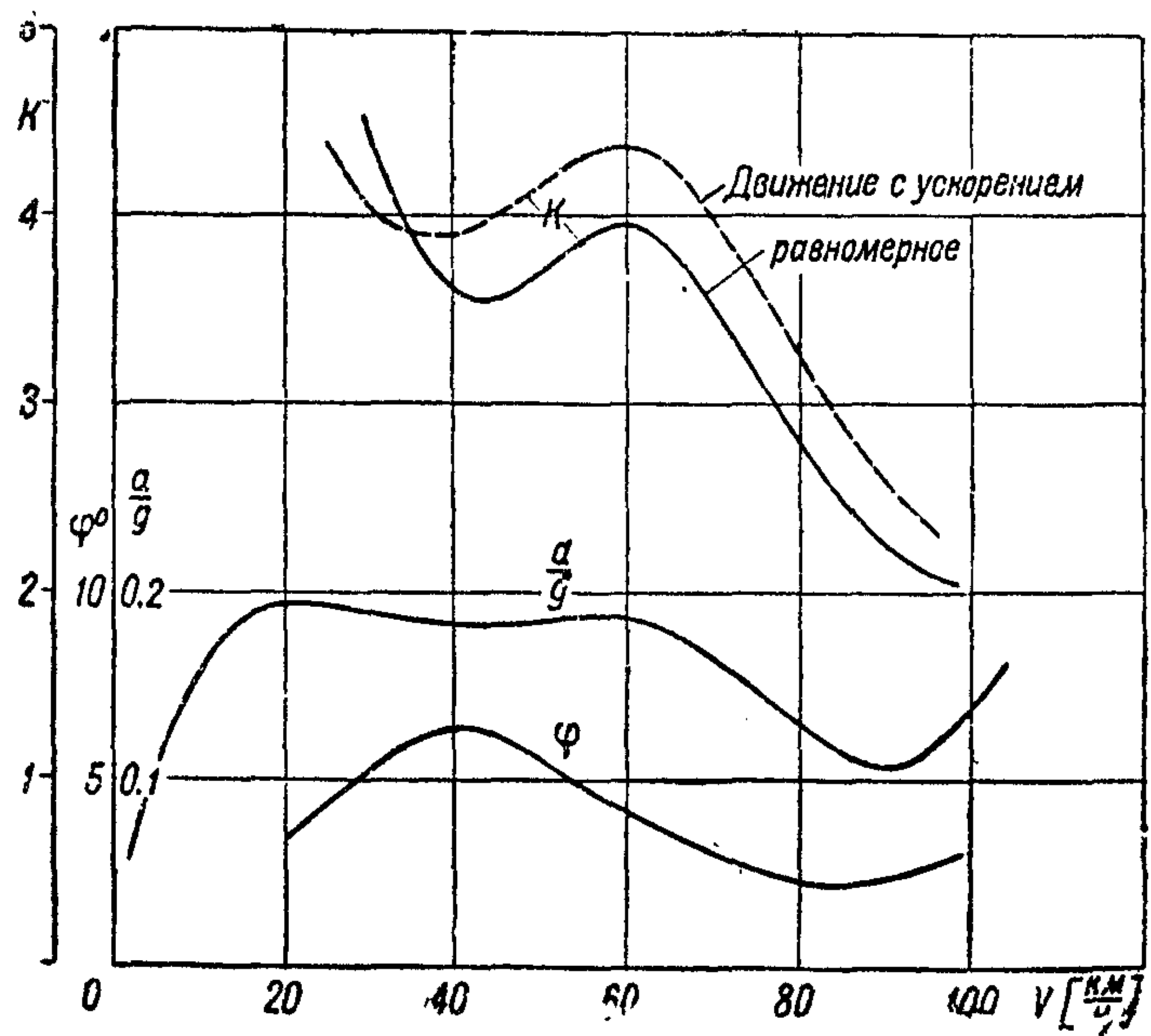
$$A = \Delta = G - Y - P \sin(\varphi + \varphi_B),$$

$$Pa_p + M_a + M_r = 0.$$

Входящие в эти уравнения силы и моменты определяются следующим образом:

тяга винтов определяется расчетом на основании графиков испытания соответствующего семейства винтов;

аэродинамические силы Y и X определяются по поляре самолета, полученной путем расчета, или испытанием модели гидросамолета в аэроди-



Фиг. 229

намической трубе (в них вводятся поправки на эффект обдувки); аналогично определяется аэродинамический момент M_a ;

гидродинамические силы и момент определяются путем буксировочных испытаний модели лодки или поплавков гидросамолета в опытовом бассейне,

результаты которых затем интерполируются для нагрузок на воду Δ ;

углы диферента и, следовательно, гидродинамические моменты берутся такие, которым соответствуют наименьшие сопротивления при каждой данной скорости и нагрузке на воду.

Типичные кривые изменения всех действующих на гидросамолет при разбеге сил показаны на фиг. 230.

Порядок расчета разбега гидросамолета следующий:

1) расчет тяги винтов при разбеге;

2) расчет поляры гидросамолета, исправление ее на эффект обдувки;

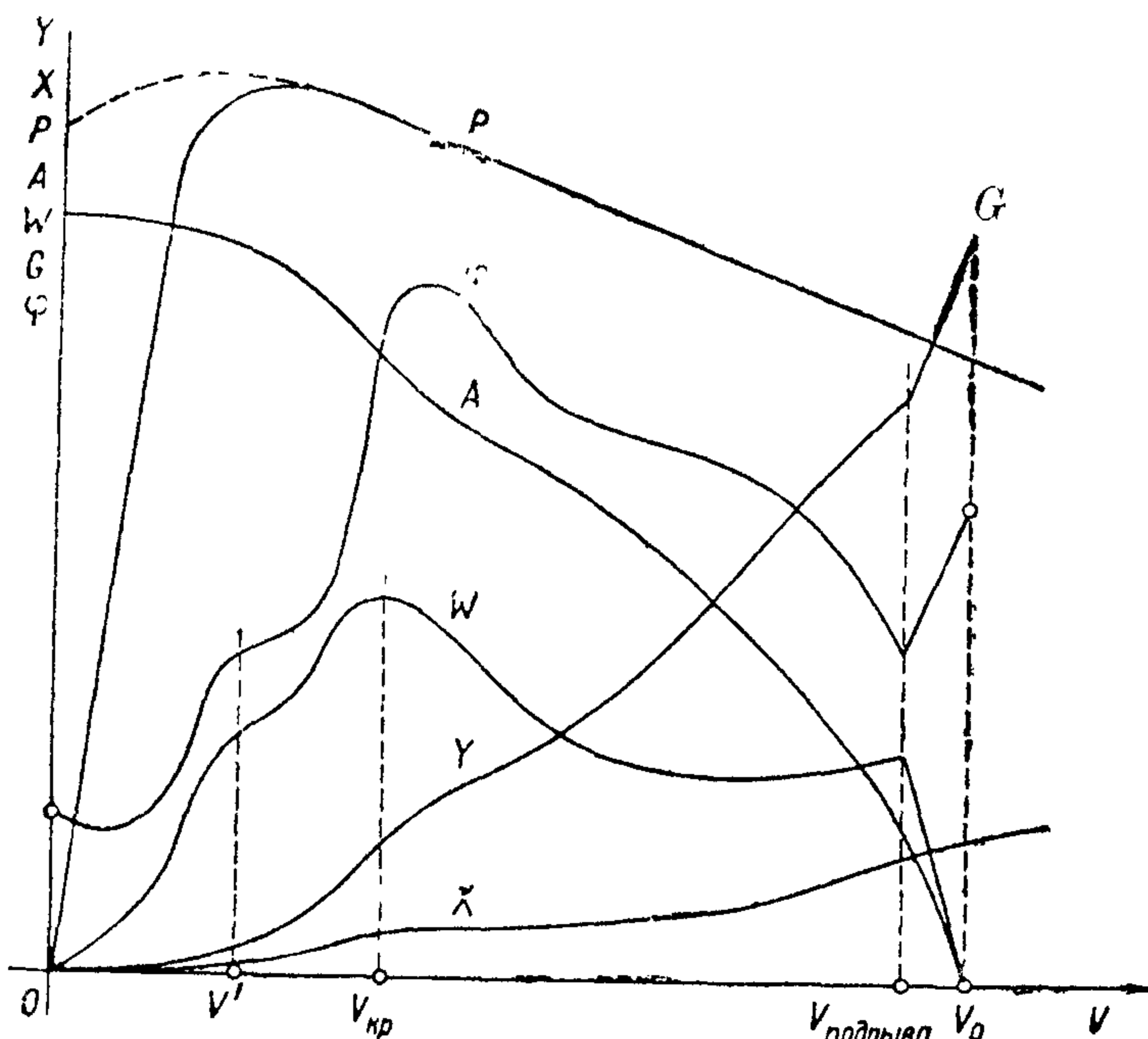
3) вычисление скорости отрыва от воды гидросамолета;

4) расчет гидродинамического сопротивления при разбеге;

5) расчет полного сопротивления гидросамолета при разбеге;

6) расчет времени и длины разбега гидросамолета.

Расчет пробега ведется аналогично.

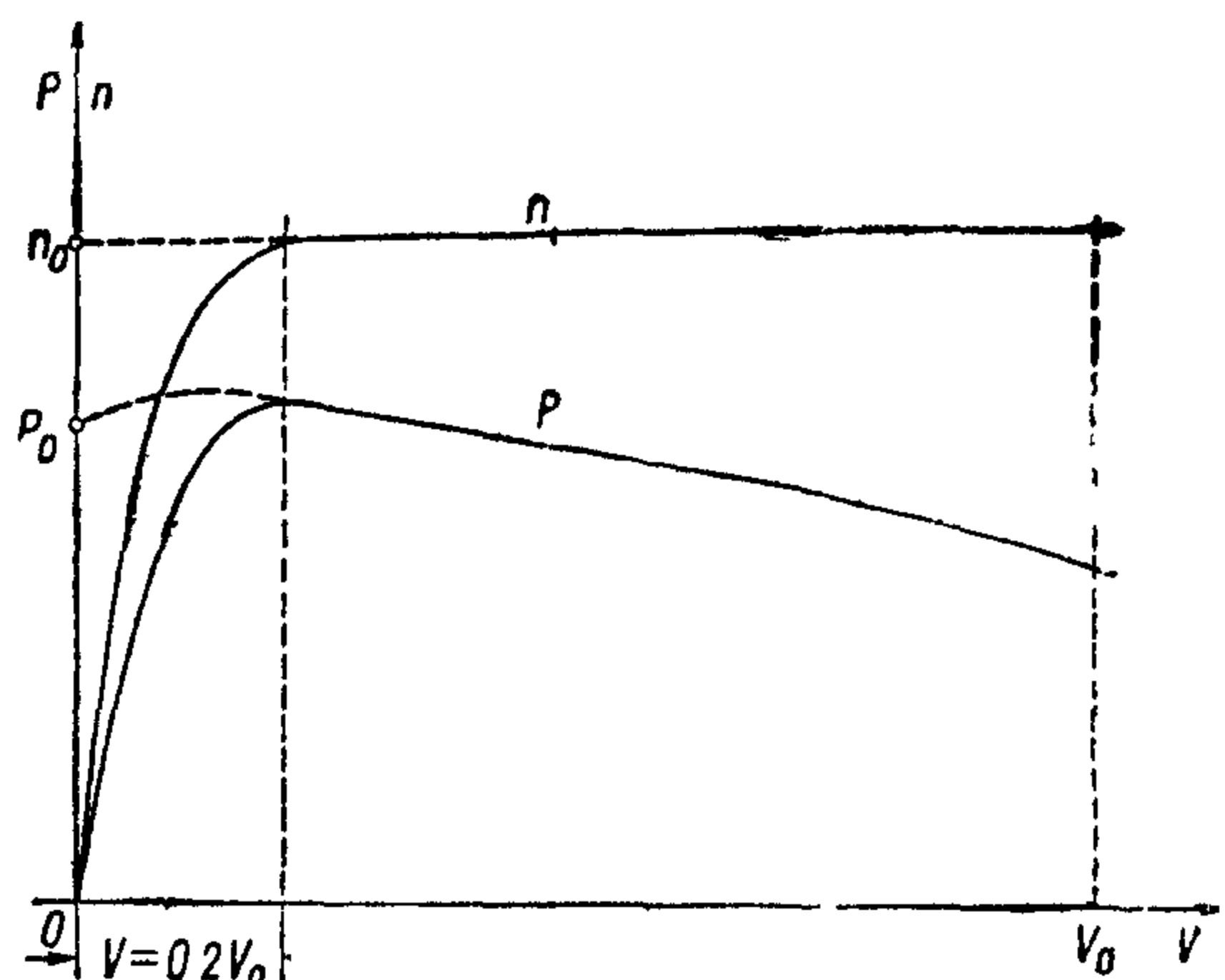


Фиг. 230

Расчет тяги винтов при разбеге

В начале разбега, при включении мотора тяга и обороты быстро возрастают от нуля до величин, соответствующих полному открытию дросселя. Затем, при дальнейшем увеличении скорости, число оборотов в минуту медленно возрастает, приблизительно по линейному закону. Тяга винтов при этом, также приблизительно по линейному закону, падает (фиг. 231). Для упрощения расчета разбега, в дальнейшем всюду принимается, что мотор работает при полном открытии дросселя, начиная от $V=0$.

Для расчета тяги при разбеге используются обычные кривые коэффициентов винтов: коэффициента тяги винта a и мощности β в функции относительной поступи λ . Для расчета разбега необходимы их значения при $0 \leq \lambda \leq 0,5$. Следует отметить, что в виду отсутствия экспериментальных исследований



Фиг. 231

взаимного влияния винта и самолета на режимах малых значений λ , и недостаточной проверенности теоретических формул для значений λ , имеющих место при разбеге, является крайне желательным использование графиков, учитывающих это влияние, т. е. графиков „эффективных“ коэффициентов

для винтов, испытывавшихся в тех же условиях (в присутствии мотококов крыла и т. д.), в которых они будут работать на самолете.

О расчете винтов и построении характеристики винтомоторной группы см. т. I, стр. 262.

Поляра гидросамолета при разбеге

Определение аэродинамической подъемной силы и лобового сопротивления

Подъемная сила гидросамолета Y и его лобовое сопротивление X вычисляются по формулам:

$$Y = c_y \frac{\rho V^2}{2} S, \quad X = c_x \frac{\rho V^2}{2} S.$$

Коэффициенты c_y и c_x являются функциями от угла атаки крыльев α , связанного с углом диферента φ соотношением $\alpha = \varphi + \varphi_{кр}$ (здесь $\varphi_{кр}$ — угол наклона хорды крыла относительно СГ гидросамолета), и получаются путем продувок модели гидросамолета в аэродинамической трубе, или путем расчета (см. т. I, стр. 250).

При расчете вредного сопротивления гидросамолета необходимо учитывать условия, в которых проводились буксировочные испытания модели лодки (или поплавков) в опытовом бассейне. Так, при пользовании материалами НАСА следует выбрасывать аэродинамическое сопротивление лодки, так как оно присоединено к ее гидродинамическому сопротивлению. При пользовании материалами ЦАГИ, наоборот, вредное сопротивление следует без изменения перенести из аэродинамического расчета (влиянием погружения части лодки при разбеге пренебрегают), так как буксировочные испытания моделей в опытовом бассейне ЦАГИ производятся в присутствии специального щита, исключая их аэродинамическое сопротивление.

Учет влияния близости водной поверхности на поляру гидросамолета

Для учета влияния близости водной поверхности на поляру гидросамолета пользуются обычно следующими формулами:

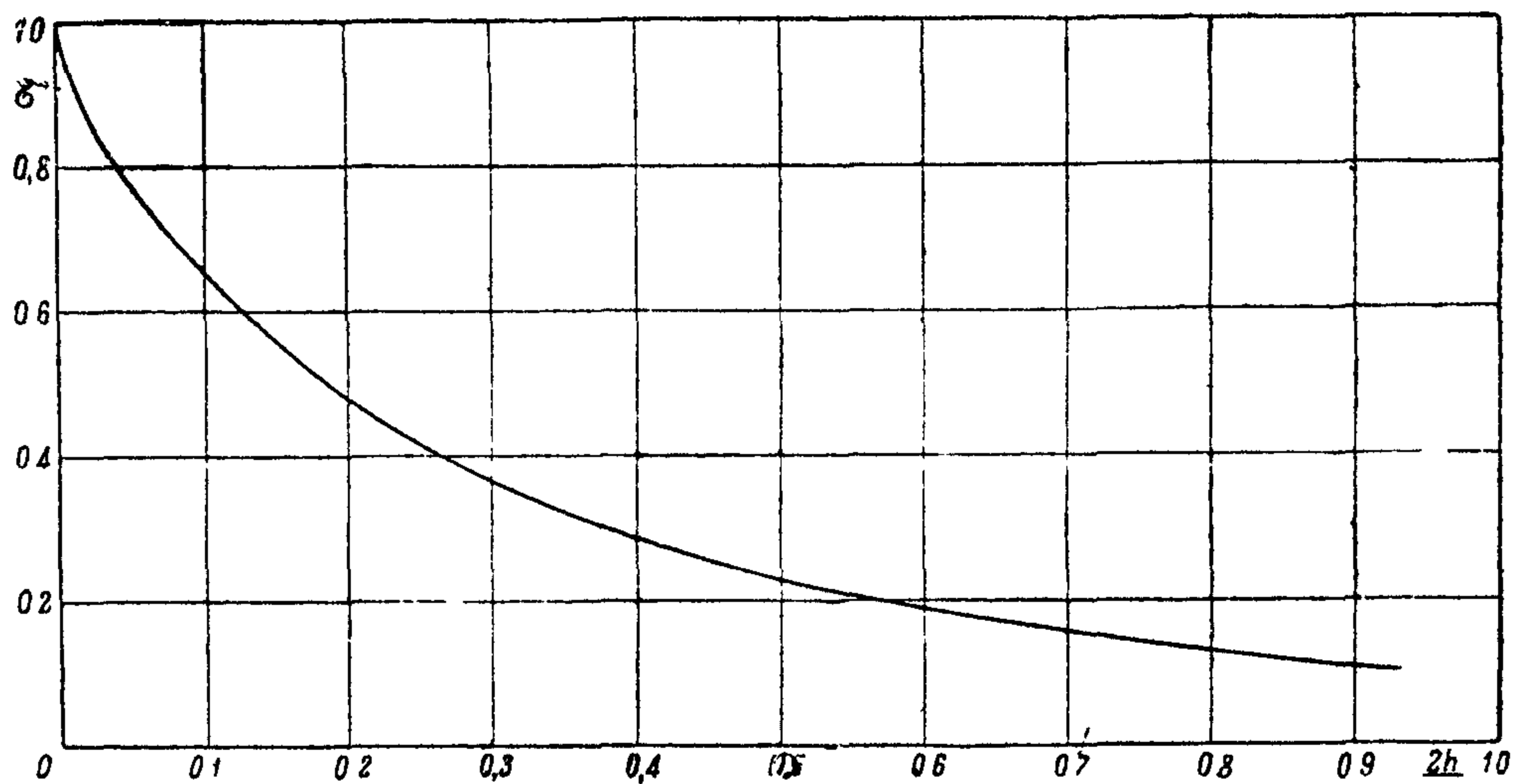
$$\begin{aligned} c_{yh} &= c_y \\ c_{xh} &= c_x - \Delta c_x \\ \alpha_h &= \alpha - \Delta \alpha \\ \Delta c_x &= \frac{\sigma}{\pi \lambda} c_y^2 \\ \Delta \alpha &= \frac{180}{\pi} \frac{\sigma}{\pi \lambda} c_y \end{aligned}$$

В этих формулах индекс h обозначает величины, исправленные на влияние близости водной поверхности, а через λ обозначено удлинение крыльев ($\lambda = \frac{l^2}{S}$; l — размах, S — площадь крыльев). Величина σ зависит от отношения $\frac{2h}{l}$, где h — расстояние от центра давления крыльев до водной поверхности. Центр давления крыльев условно принимается расположенным на $\frac{1}{3}$ их средней аэродинамической хорды.

При пересчете поляры биплана на влияние близости водной поверхности можно заменить его эквивалентным монопланом, центр давления крыла которого лежит на $\frac{1}{3}$ средней аэродинамической хорды биплана.

Наиболее сильное влияние близости водной поверхности на разбег имеет место при скоростях глиссирования, когда осадка гидросамолета мала; поэтому при определении h можно считать, что WL проходит через кромки реданов.

Зависимость $\sigma = f\left(\frac{2h}{l}\right)$ дана на фиг 232 Сравнение результатов пересчетов, произведенных по приведенным здесь формулам, с экспериментальными данными показывает хорошее совпадение в полярах и менее удовлетворительное в кривых $c_v = \Phi(\alpha)$ Для крыльев с открытыми щитками,



Фиг 232

размах которых отличается от размаха крыльев, формулы не дают удовлетворительного совпадения В этом случае следует пользоваться специальными продувками

Влияние на поляру гидросамолета обдувки от винтов

Обдувка от винтов в некоторых случаях может оказать заметное влияние на разбег гидросамолета Особенно большим оно может быть для гидросамолетов современного типа (например, Мартин 130, Сикорский S—42), имеющих винты, расположенные перед крылом, когда значительная часть площади крыла попадает в зону обдувки

В томе I Справочника на стр 267—274 приводятся формулы для учета обдувки при основных встречающихся на практике случаях взаимного расположения винта и самолета

Для иллюстрации величины влияния обдувки на подъемную силу гидросамолета при разбеге приведены результаты расчета подъемной силы гидросамолета Faigu III, при разбеге Эти данные достаточно удовлетворительно совпадают с результатами испытаний¹ (Таблица LII)

Таблица LII

Скорость в % скорости отрыва	19,4	38,8	58,2	77,6	100
Подъемная сила крыльев при разбеге в ‰ веса гидросамолета	7,6	28,2	48,0	51,8	99,6
Приращение подъемной силы крыльев за счет обдувки от винтов в ‰ подъемной силы крыльев	50,6	32,1	16,3	14,8	9,2

Гидросамолет Faigu III представляет собой одномоторный двухпоплавковый биплан В струю винта попадает часть оперения и сравнительно

небольшая часть крыльев (именно, 11,4% площади крыльев) Поэтому эффект обдувки здесь значительно меньше, чем он может быть у многомоторных монопланов.

Аэродинамический момент относительно центра тяжести гидросамолета при разбеге может быть определен на основании материала, приведенного в томе I Справочника стр. 347—371

Расчет гидродинамического сопротивления

Допущения при расчете гидродинамического сопротивления

Считается, что разбег осуществляется на „наивыгоднейших“ углах дифферента, т. е. на углах, которым соответствует при данных постоянной скорости и нагрузке на воду наименьшее гидродинамическое сопротивление.

Возможность осуществления режимов движения при разбеге гидросамолета в максимальной мере близких к наивыгоднейшим обеспечивается тем, что центровка (и, следовательно, установка крыла) относительно редана лодки выбирается из условия возможно более полного осуществления наивыгоднейшего режима на критической скорости при работающем моторе. (Другое требование, которому должна удовлетворять центровка, это — обеспечение динамической устойчивости при разбеге). На скоростях, больших критической, рули самолета становятся эффективными и, в большинстве случаев, достаточными для ведения машины на наивыгоднейших режимах.

Гидродинамическое сопротивление натурального самолета пересчитывается с модели по закону подобия Фруда. Для того, чтобы получающаяся погрешность была заведомо малой, буксировочным испытаниям подвергают лишь достаточно большие модели. Выбор допустимых размеров моделей производится на основании специального изучения масштабного эффекта для серий геометрически подобных моделей (стр. 25).

Разбег на наивыгоднейших углах дифферента производится до скорости „подрыва“ ($V_{\text{подр}}$); эту скорость можно определить как скорость, соответствующую условию $Y = G$ при максимальном угле дифферента, который возможен при большой скорости. Таким образом:

$$V_{\text{подр}} = \sqrt{\frac{2G}{\rho S c_y}}$$

Значение c_y берется для угла атаки

$$\alpha' = \gamma_1 + \varphi_{\text{кр}}$$

где γ_1 — угол продольной килеватости межреданной части лодки,
 $\varphi_{\text{кр}}$ — угол наклона хорды крыльев относительно строительной горизонтали лодки

(т. е. α' берется для ватерлинии, проходящей через кромки обоих реданов).
 Скорость отрыва от воды V_0 принимается равной.

$$V_0 = 1,05 V_{\text{подр}}$$

Гидродинамическое сопротивление принимается падающим, начиная со скорости подрыва по линейному закону до 0 при $V = V_0$ (фиг. 230).

При расчете пробега посадочная скорость вычисляется по формуле:

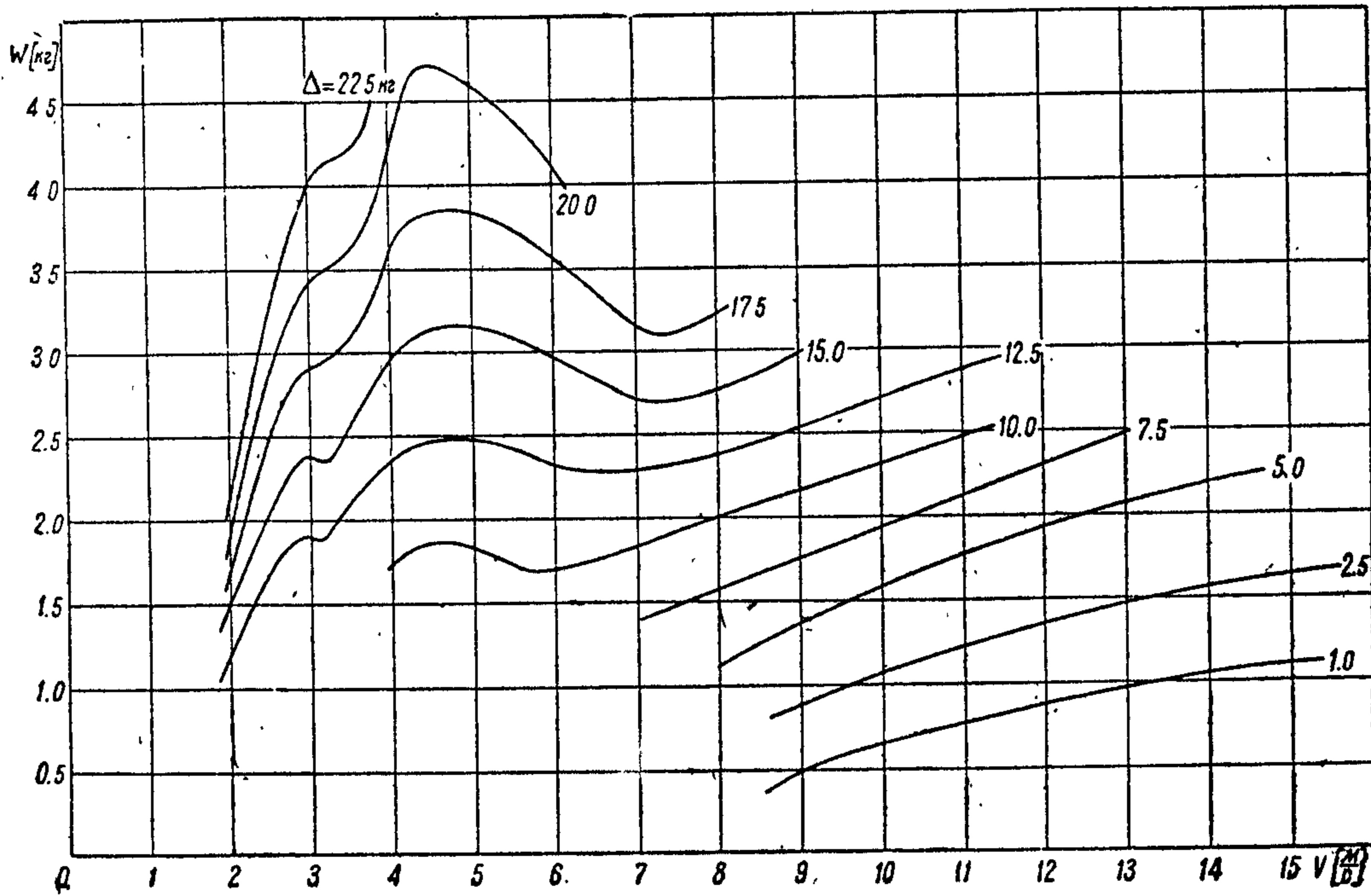
$$V_{\text{пос}} = 0,94 \sqrt{\frac{2G}{\rho S c_{y \text{ макс}}}}$$

Пренебрегают вертикальным ускорением.

Расчет пробега производят до скорости $V = 3 \text{ м/с}$.

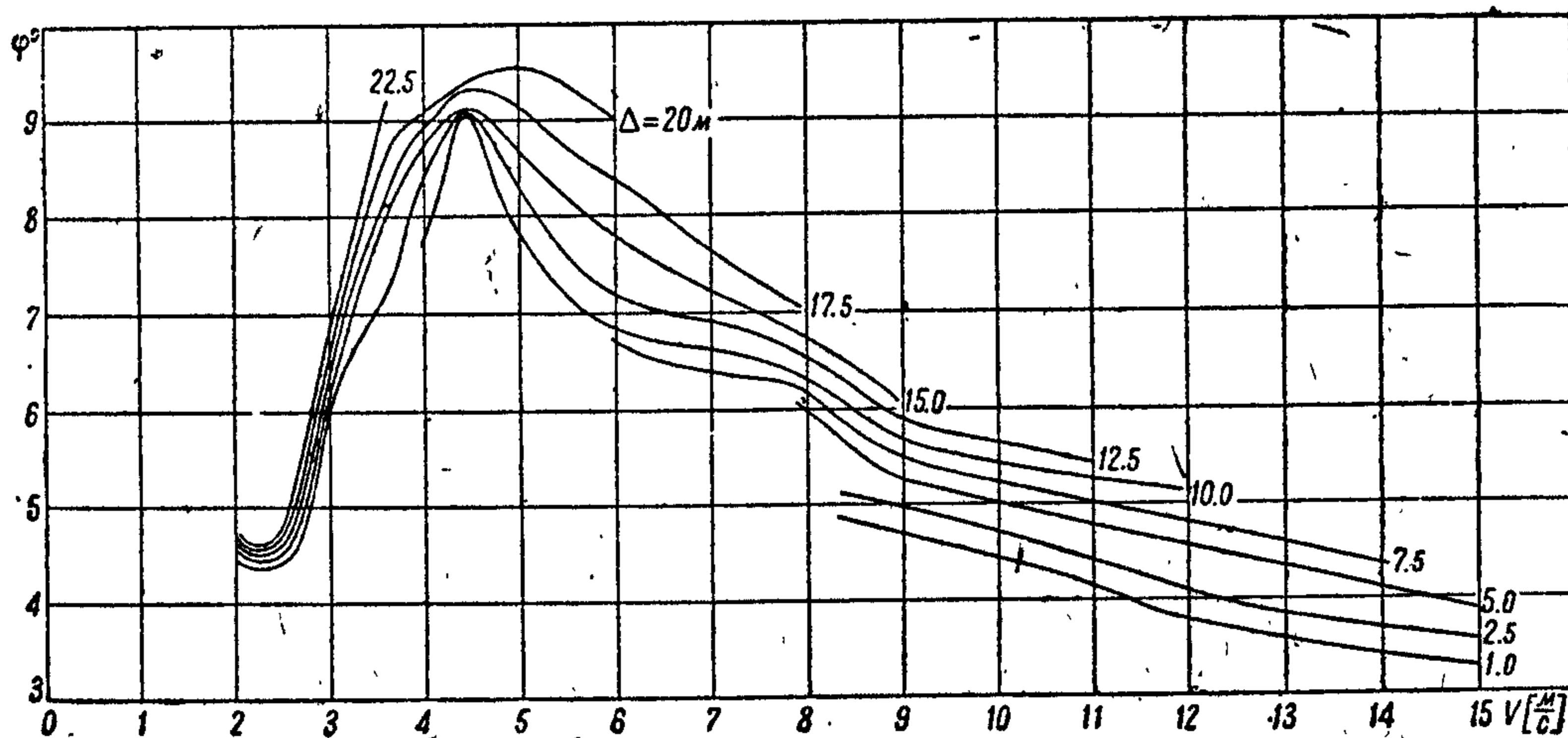
Расчет гидродинамического сопротивления и углов диферента гидросамолета при разбеге

Результаты буксировочных испытаний модели лодки (или поплавков гидросамолета), необходимые для гидродинамического расчета, обычно бывают представлены в виде графиков, подобных приведенным на фиг. 233



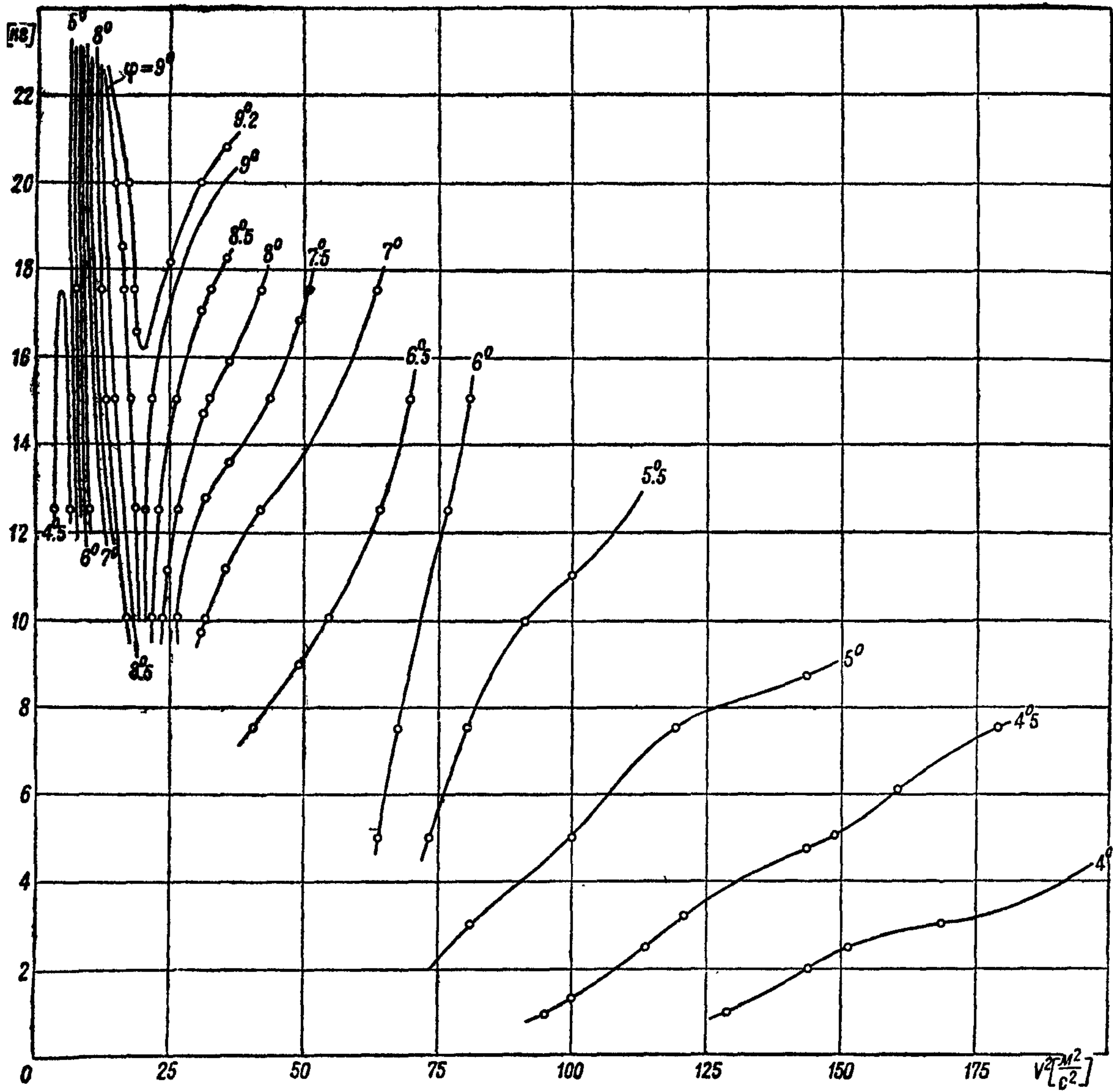
Фиг. 233

и 234 (кривые сопротивлений и углов диферента даны для ряда постоянных нагрузок на воду). Имея результаты буксировочных испытаний и график нагрузок на воду по скоростям для различных нагрузок на воду Δ_0 , производят интерполяцию результатов буксировочных испытаний для нагрузок на воду, удовлетворяющих уравнению $\Delta = G - Y - P \sin(\varphi + \varphi_B)$. Это достигается с помощью кривых равных углов диферента и равных сопротивлений.

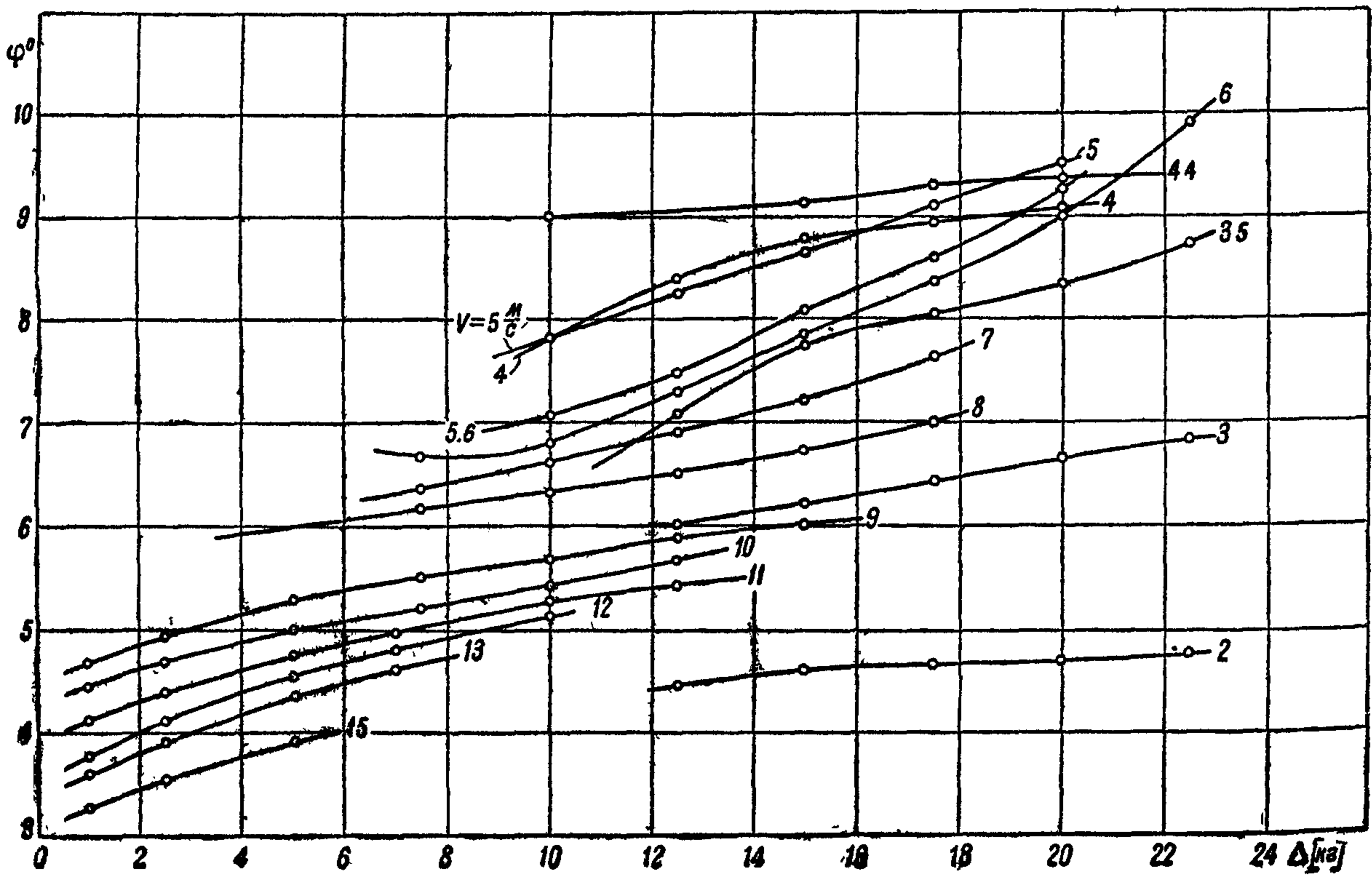


Фиг. 234

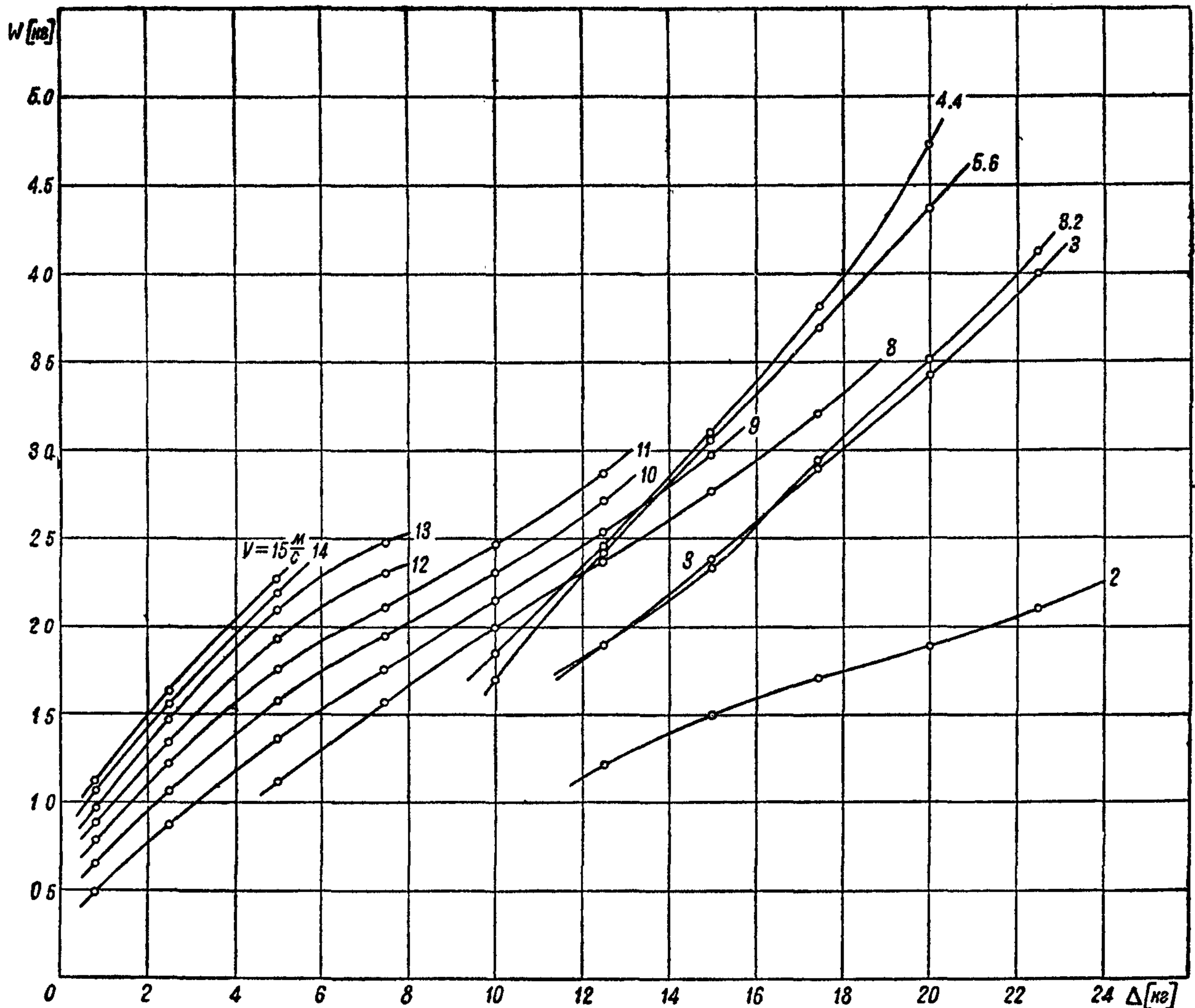
Построение кривых равных углов диферента. Задаются рядом углов диферента, обычно через 0,5 градуса. С фиг. 234 снимают, для каждой из нагрузок на воду, скорости, соответствующие заданным углам. Затем, приступают к построению кривых равных углов диферента. По оси ординат откладывают нагрузки на воду, по оси абсцисс—квадраты скорости. Точки, соответствующие каждому заданному углу, диферента,



Фиг. 235



Фиг. 236



Фиг. 237

соединяют плавными кривыми (фиг. 235). Однако, обычно при этом получается слишком мало точек для того, чтобы можно было правильно уловить характер протекания кривых равных диферентов, который бывает довольно сложным. Приходится прибегать к интерполяции по скорости. Задаются рядом скоростей, примерно, через 1 м/с; в области критической скорости, где кривые претерпевают резкие изменения, скорости берут с интервалом 0,5 м/с и чаще. Для каждой такой скорости снимают значения углов диферента, соответствующих каждой нагрузке на воду (фиг. 234). Затем, строят кривые $\varphi = \varphi(\Delta)$ при заданных скоростях (фиг. 236). С них и снимаются дополнительные точки для кривых равных углов диферента.

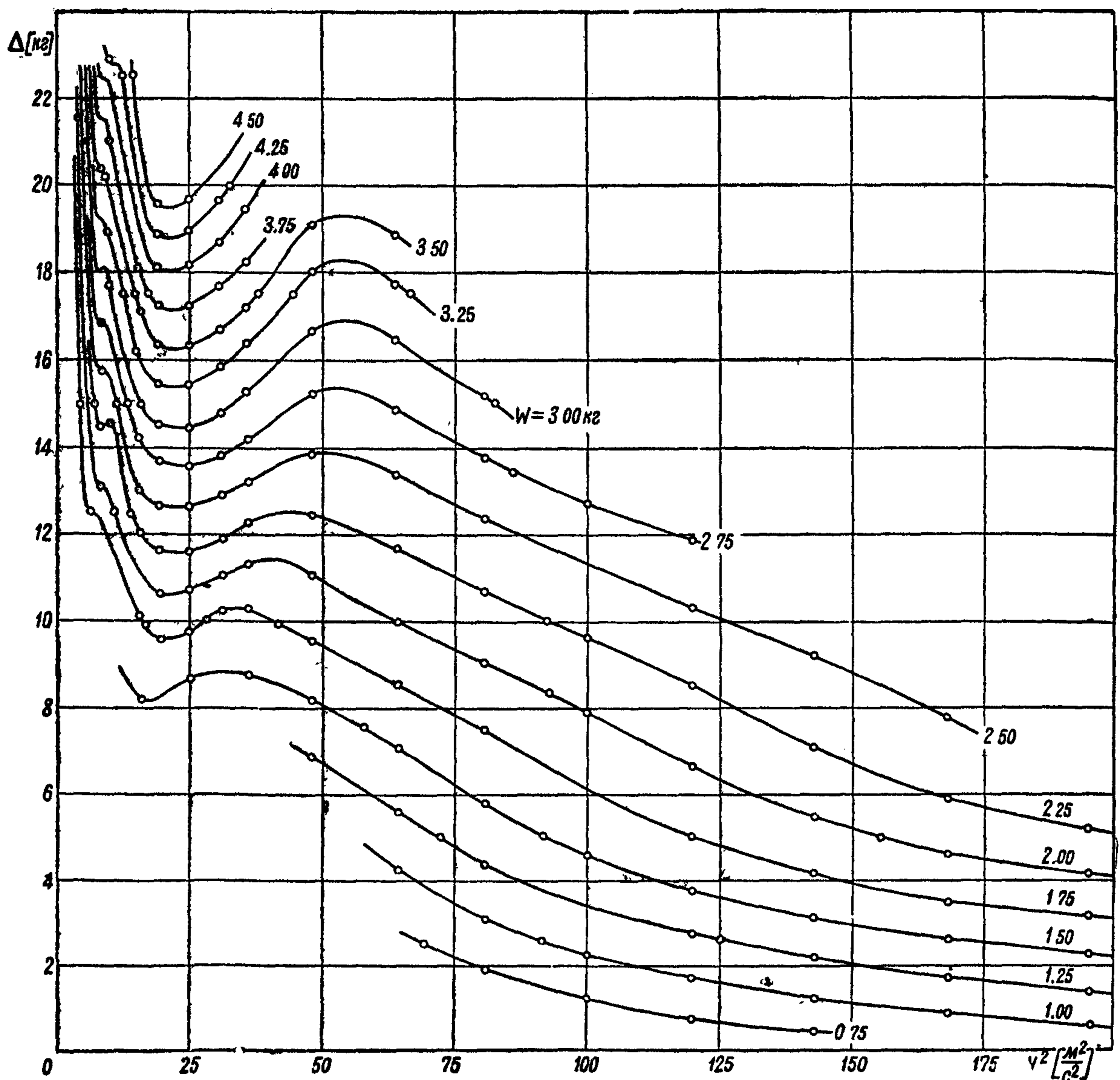
Строятся вспомогательные кривые $W = W(\Delta)$ для разных скоростей (фиг. 237) и кривые равных сопротивлений (фиг. 238). Важно, чтобы как масштабы для Δ , так и масштабы для V^2 на диаграммах равных углов диферента и равных сопротивлений были совершенно одинаковы.

Построение кривых равных углов диферента по уравнению $\Delta = G - Y - P \sin(\varphi + \varphi_B)$. Прежде всего, по закону Фруда, производится пересчет на модель. Если масштаб модели есть $\frac{1}{\lambda}$ (отношение линейного размера модели к соответствующему размеру натуре), тогда:

$$\Delta = \frac{\Delta_n}{\lambda^3}; \quad V = \frac{V_n}{\sqrt{\lambda}}$$

(индексы „н“ присвоены величинам в натуральных условиях).

Вычисленные значения Δ для ряда углов диферента φ одинаковы с теми, для которых были ранее построены кривые равных углов дифе-



Фиг. 238

рента, и в тех же самых масштабах для Δ и V^2 , наносятся на кальку. Точки, соответствующие одинаковым значениям φ , соединяются плавными кривыми.

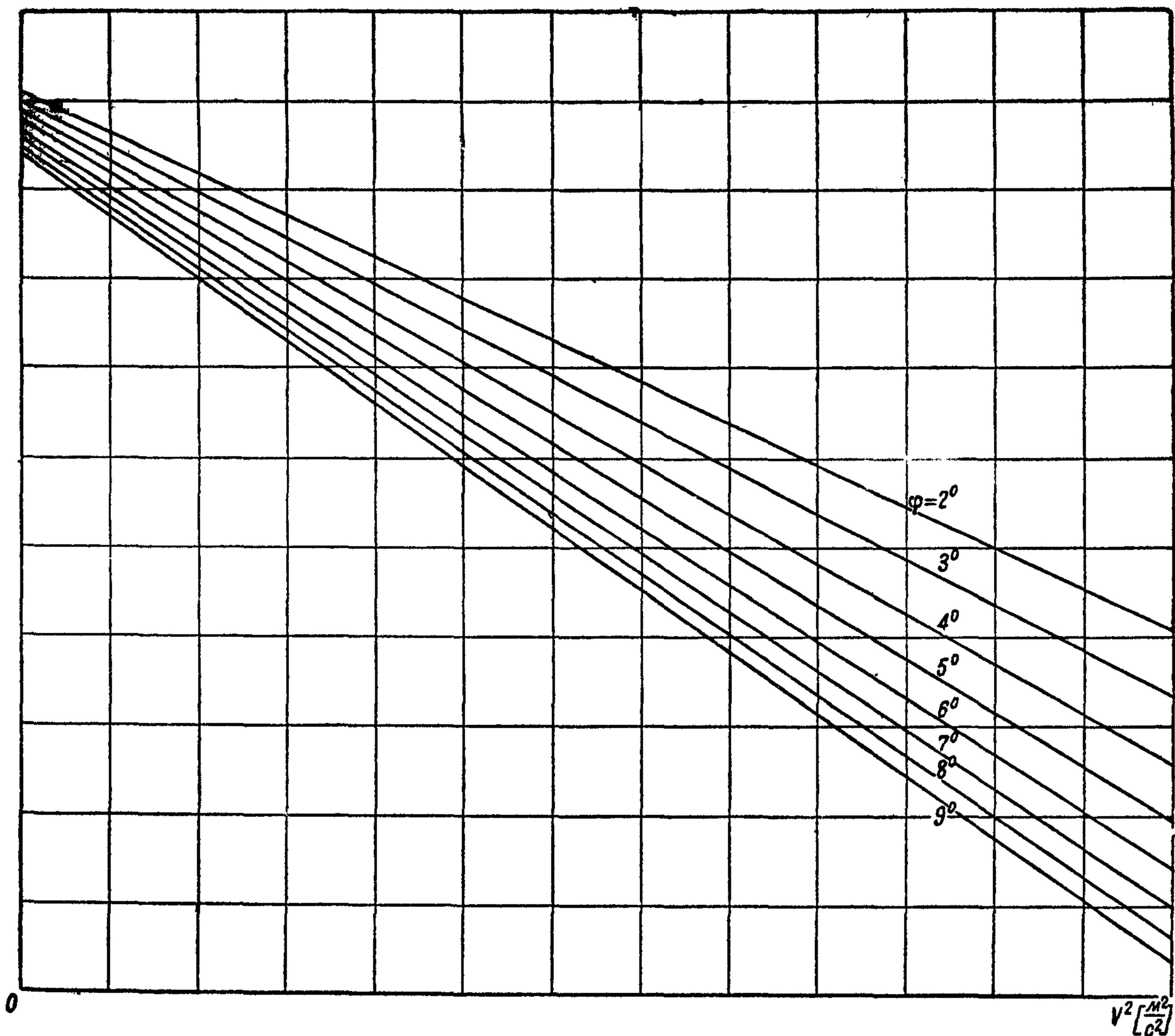
В практике гидродинамических расчетов кривые $\Delta = \Delta(V^2)$ обычно заменяют прямыми, которые для каждого значения φ строятся по двум точкам, именно, по значениям Δ при $V=0$ и при $V=V_0$.

Типичный график $\Delta = \Delta(V^2)$ при $\varphi = \text{const}$ показан на фиг. 239.

Построение кривых $\varphi = \varphi(V)$, $W = W(V)$ и $\Delta = \Delta(V)$ при разбеге гидросамолета. Калька с построенными кривыми $\Delta = \Delta(V^2)$ при $\varphi = \text{const}$ накладывается на диаграмму равных углов диферента, построенную на основании результатов буксировочных испытаний. Точки пересечения кривых обеих диаграмм, соответствующие одинаковым значениям φ , соединяются плавной кривой (фиг. 240), которая и представляет закон изменения Δ в функции от скорости при разбеге гидросамолета. Это построение вместе с тем определяет и зависимость $\varphi = \varphi(V)$ при разбеге.

Калька накладывается затем на диаграмму равных сопротивлений, и отмечаются значения сопротивления W в точках пересечения кривых с полученной на кальке окончательной кривой $\Delta = \Delta(V)$. Таким образом получается кривая сопротивления $W = W(V)$ при разбеге.

При изменении веса самолета G_n на ΔG_n кривые $\Delta = \Delta(V^2)$ при $\varphi = \text{const}$ сдвигаются параллельно по оси Δ на отрезок $\Delta G = \frac{\Delta G_n}{\lambda^3}$, что проще всего достигается перемещением начала координат в противоположном направлении.



Фиг. 239

Построение окончательной кривой $\Delta = \Delta(V)$ для определения $\varphi = \varphi(V)$ и $W = W(V)$ при новом весе должно быть произведено заново.

Найденные значения $W = W(V)$ и $\varphi = \varphi(V)$ соответствуют модели. Их пересчет на натуру производится по формулам Фруда (стр. 51):

$$V_n = V\sqrt{\lambda}; \quad W_n = W\lambda^3.$$

Теоретический расчет гидродинамического сопротивления гидросамолета для режимов глиссирования. В тех случаях, когда скорость тележки при буксировочных испытаниях модели, не позволяет довести испытания до скорости отрыва, кривую гидродинамического сопротивления приходится экстраполировать. Для того, чтобы избежать при этом больших погрешностей, гидродинамическое сопротивление рассчитывают при следующих допущениях.

что глиссирование гидросамолета происходит только на первом редане; второй редан находится в воздухе;

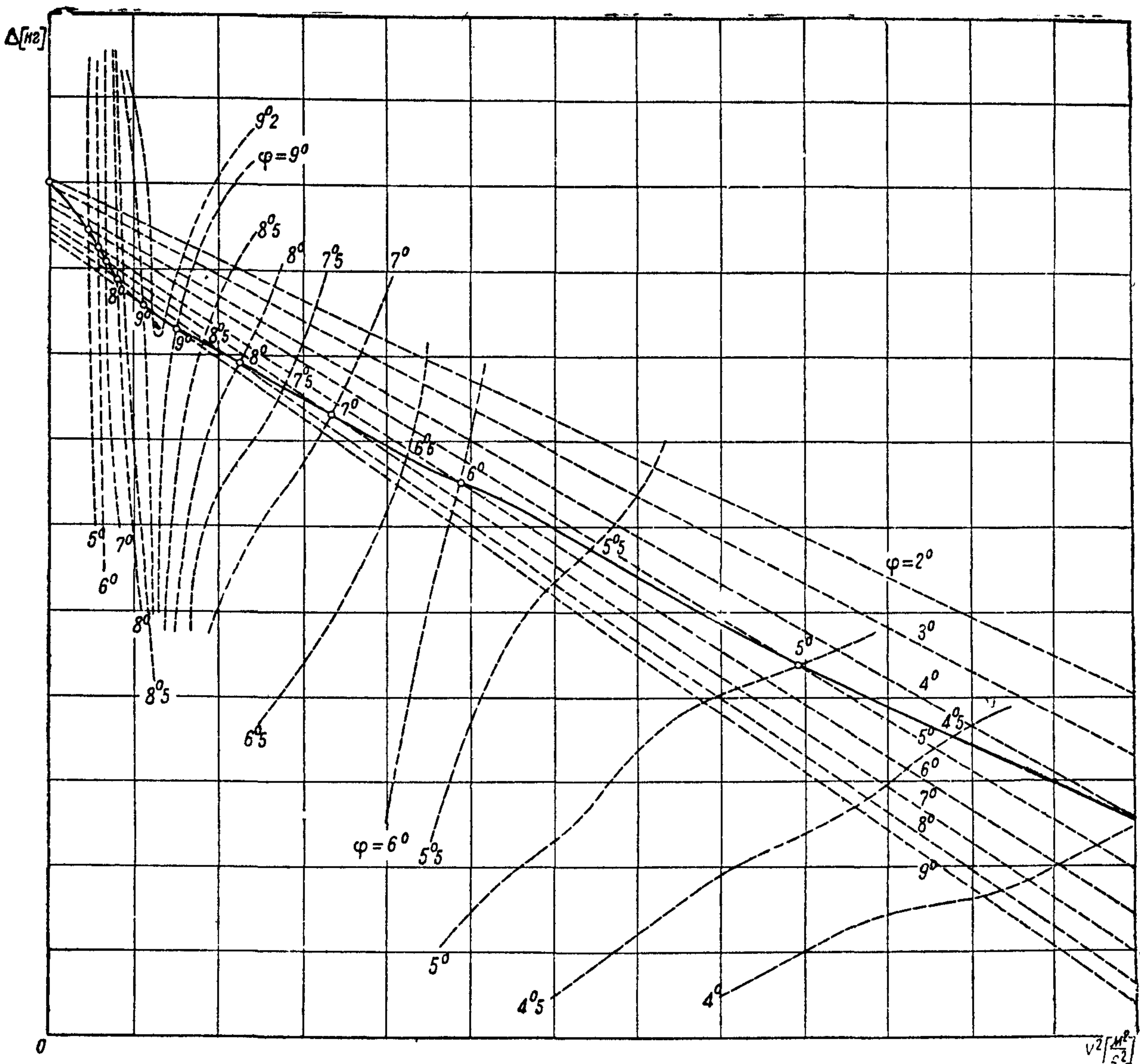
что лодка имеет в носовой части цилиндрическую вставку, в пределах которой и находится оmyаемая часть днища;

что при определении сил трения условно можно заменить килеватое днище плоской пластинкой.

Расчет обычно производят лишь для одной скорости $V \approx 0,9 V_0$ и для угла $\varphi \approx \gamma_1$.

Гидродинамическое сопротивление при глиссировании цилиндрической поверхности может быть представлено в виде:

$$W = \Delta \operatorname{tg} \varphi + c_r \frac{\rho_w V^2}{2} S,$$



Фиг. 240

где c_f — коэффициент сопротивления трения,

ρ_w — плотность воды,

S — смоченная поверхность днища лодки.

Величина смоченной площади $S = lB$ определяется с помощью зависимости:

$$\frac{c_B}{\varphi} = \frac{\Delta}{\frac{\rho_w B^2}{2} V^2 \varphi} = \frac{0,7\pi \frac{l}{B}}{1 + 1,4 \frac{l}{B}}$$

при заданных:

нагрузке на воду Δ , ширине лодки B , угле диферента φ и скорости V (стр. 25).

Величина коэффициента трения c_f определяется в зависимости от $Re = \frac{Vl}{\nu}$, как указано на стр. 26.

Расчет времени и длины разбега и пробег гидросамолета

Расчет времени и длины разбега путем непосредственного интегрирования уравнений разбега

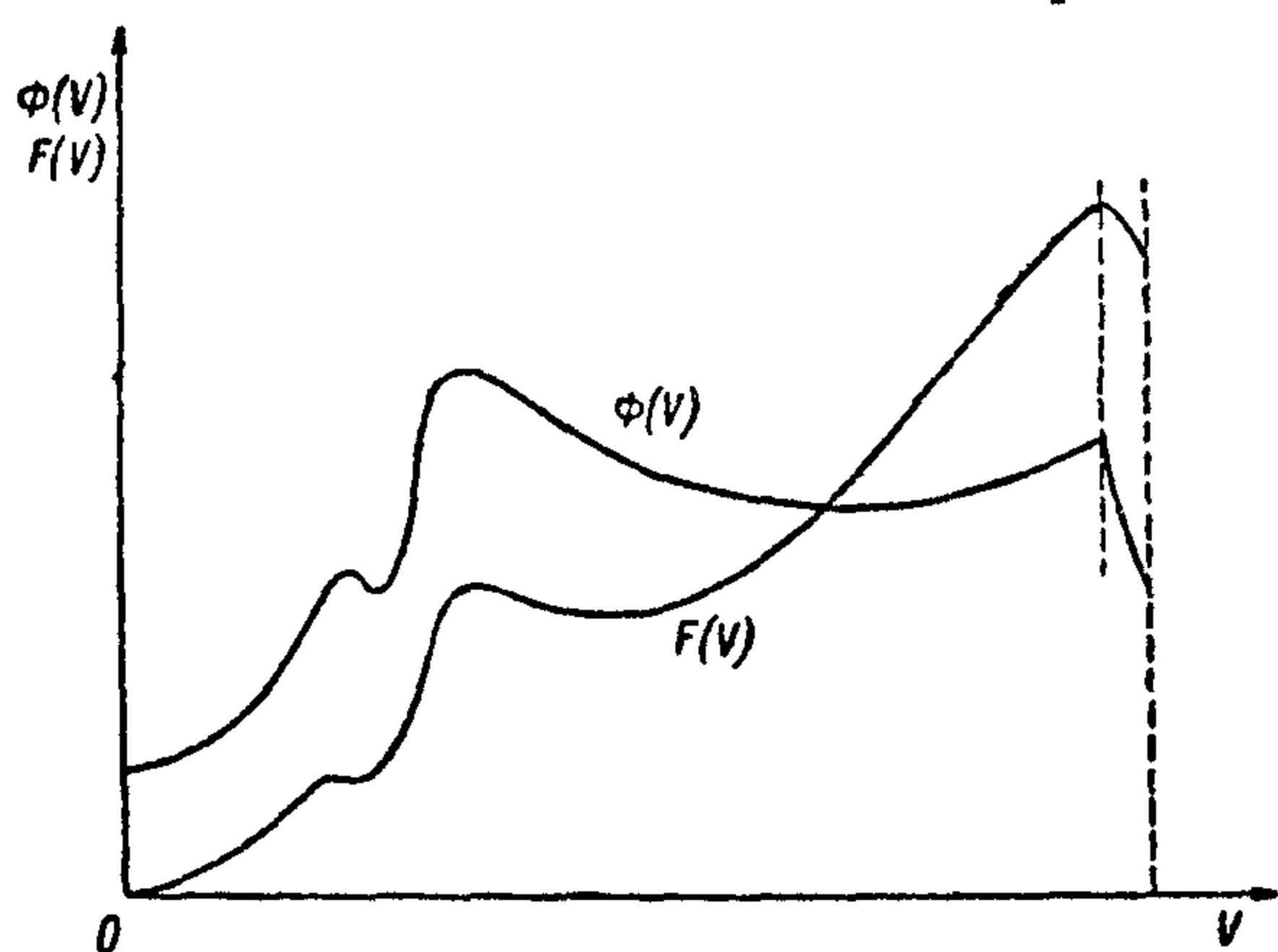
Основные уравнения разбега суть:

$$m \frac{dV}{dt} = P \cos(\varphi + \varphi_B) - X - W; \quad \frac{dL}{dt} = V,$$

где L — длина разбега,
 P — эффективная тяга винтов,
 φ_B — угол наклона линии действия тяги винтов со строительной горизонталью лодки (фиг. 228),
 X — аэродинамическое сопротивление гидросамолета,
 W — гидродинамическое сопротивление гидросамолета.
 Время и длина разбега будут:

$$t = m \int_0^{V_0} \Phi(V) dV, \quad L = m \int_0^{V_0} F(V) dV.$$

Расчет сводится к построению графиков функций (фиг. 241):



Фиг. 241

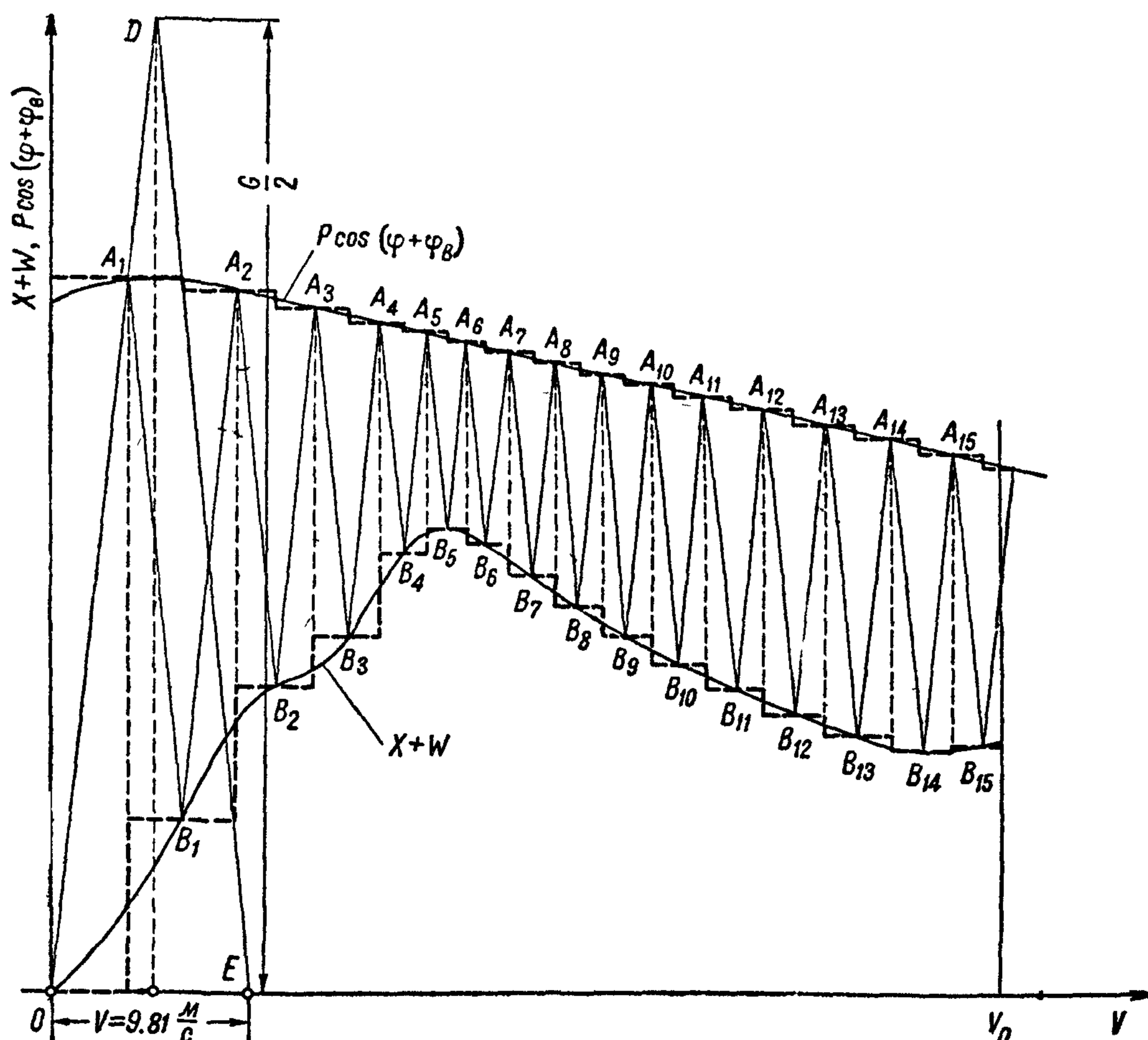
$$\Phi(V) = \frac{1}{P \cos(\varphi + \varphi_B) - X - W},$$

$$F(V) = \frac{V}{P \cos(\varphi + \varphi_B) - X - W},$$

планиметрированию их в пределах от $V=0$ до $V=V_0$ и умножению полученных результатов на m .

Расчет времени и длины разбега методом Маделунга

На общем чертеже строятся графики функций:
 $P \cos(\varphi + \varphi_B) = f(V)$ и $X + W = \varphi(V)$ (фиг. 242).



Фиг. 242

По оси скоростей V откладывается от начала координат отрезок OE , численно равный величине ускорения свободного падения, т. е. $V = 9,81 \text{ м/с}$. Из середины полученного отрезка восстанавливается перпендикуляр, на котором откладывается в масштабе сопротивления половина веса гидросамолета $\left(\frac{G}{2}\right)$. Полученная точка соединяется прямыми с началом координат и с точкой E . Из точки пересечения A_1 треугольника ODE с линией $P \cos(\varphi + \varphi_v) = f(V)$ проводится прямая, параллельная его стороне DE , до пересечения в точке B_1 с линией $X + W = \phi(V)$. Отсюда ведется прямая, параллельная OD , и т. д. Между кривыми $P \cos(\varphi + \varphi_v) = f(V)$ и $X + W = \phi(V)$ вписывается ломаная $OA_1B_1A_2B_2A_3B_3\dots$, звенья которой попеременно параллельны сторонам OD и DE треугольника ODE .

Время разбега гидросамолета в секундах равно числу звеньев ломаной $OA_1B_1A_2B_2A_3B_3\dots$.

Длина разбега в метрах равна сумме скоростей, соответствующих вершинам $A_1, B_1, A_2, B_2, A_3\dots$, за исключением последней вершины, для которой следует взять половину соответствующей ей скорости.

Сущность метода Маделунга заключается в замене непрерывных кривых для действующих на гидросамолет сил $P \cos(\varphi + \varphi_v)$ и $X + W$ ступенчатыми, показанными на фиг. 242 пунктиром.

Приближенная формула Вуда⁵

В тех случаях, когда требуется быстро произвести грубую прикидку времени разбега гидросамолета, можно воспользоваться формулой Вуда:

$$\frac{V_0}{gt} = 1,3 \frac{P_0}{G} - 0,5 (\mu_{\text{мин}} + \varepsilon_{\text{кр}}) - 0,2 \varepsilon_{\text{гл}},$$

где P_0 — тяга винтов на месте,

$\mu_{\text{мин}}$ — минимальное обратное аэродинамическое качество гидросамолета

$$\left(\mu = \frac{c_x}{c_y} \right)$$

$\varepsilon_{\text{кр}}$ — коэффициент глиссирования гидросамолета при критической скорости

$$\left(\varepsilon = \frac{W}{\Delta} \right)$$

$\varepsilon_{\text{гл}}$ — коэффициент глиссирования гидросамолета при $V = 0,9 V_0$.

Эта формула выведена из следующих соображений: средняя тяга при разбеге принимается равной $0,9 P_0$; среднее полное сопротивление гидросамолета берется равным среднему арифметическому из его полного сопротивления $(X + W)_{\text{кр}}$ на критической скорости $V_{\text{кр}} \approx 0,4 V_0$ и полного сопротивления $(X + W)_{\text{гл}}$ при $V \approx 0,9 V_0$;

подъемная сила на $V_{\text{кр}}$ принимается равной

$$Y_{\text{кр}} = \frac{V_{\text{кр}}}{V_0} G = 0,16 G,$$

а нагрузка на воду $\Delta = G - Y_{\text{кр}} = 0,84 G$.

Кроме того делается допущение, что в начальный момент разбега $V = 0,3 V_0$.

Расчет времени и длины пробега

Основные уравнения пробега суть:

$$m \frac{dV}{dt} = -X' - W',$$

$$\frac{dL}{dt} = V.$$

Здесь X' отличается от аэродинамического сопротивления при разбеге X за счет изменения сопротивления от винтов, работающих на другом режиме.

Гидродинамическое сопротивление W' отличается от гидродинамического сопротивления W при разбеге вследствие изменения нагрузки на воду, которая при пробеге будет:

$$\Delta' = G - Y',$$

причем, подъемная сила крыльев Y' , вследствие отсутствия обдувки от винтов, отличается от соответствующих значений ее при разбеге.

Время и длина пробега вычисляются по формулам:

$$t = m \int_{V=3 \frac{m}{c}}^{V_{\text{пос}}} \frac{dV}{X' + W'}; \quad l = m \int_{V=3 \frac{m}{c}}^{V_{\text{пос}}} \frac{V dV}{X' + W'}.$$

Задача расчета сводится к построению графиков функций:

$$\Phi'(V) = \frac{1}{X' + W'}; \quad F'(V) = \frac{V}{X' + W'},$$

и планиметрированию их в пределах от $V = 3 \text{ м/с}$ до $V = V_{\text{пос}}$ и умножению полученных результатов на m .

Может быть также применен метод Маделунга (стр. 232).

Расчет предельного для отрыва веса гидросамолета

В большинстве случаев, при разбеге гидросамолета, минимальный избыток тяги соответствует критической скорости (или несколько большей). Поэтому расчет обычно производится только для режима $V_{\text{кр}}$ (следует помнить, что с изменением веса величина $V_{\text{кр}}$ также изменяется). Если кривая полного сопротивления гидросамолета, полученная при расчете разбега, заставляет опасаться, что минимум избытка тяги будет иметь место на некотором режиме глиссирования, тогда расчет предельного веса должен быть повторен и для соответствующей скорости глиссирования. За предельный вес при этом следует принять наименьшее из полученных для него значений при $V_{\text{кр}}$ и при данной скорости глиссирования.

Расчет заключается в построении кривой максимального избытка тяги в функции от веса при $V_{\text{кр}}$ и в определении веса, при котором избытка тяги нет.

В основу расчета кладутся полученные при буксировочных испытаниях модели лодки (или поплавков) гидросамолета кривые гидродинамического сопротивления на режиме критической скорости, для разных нагрузок на воду, построенные по углам дифферента (фиг. 243). На этот же график наносятся кривые:

$$P \cos(\varphi + \varphi_{\text{в}}) - X = f(\varphi)$$

для критических скоростей, соответствующих данным нагрузкам на воду.

(это проделывается, также, и для кривых гидродинамического сопротивления, расположенных выше кривой $P \cos(\varphi + \varphi_p) - X = f(\varphi)$; им будут соответствовать отрицательные значения ΔP). Определяются углы диферента, соответствующие максимумам ΔP ; затем, по формуле:

$$G = \Delta + Y + P \sin(\varphi + \varphi_p)$$

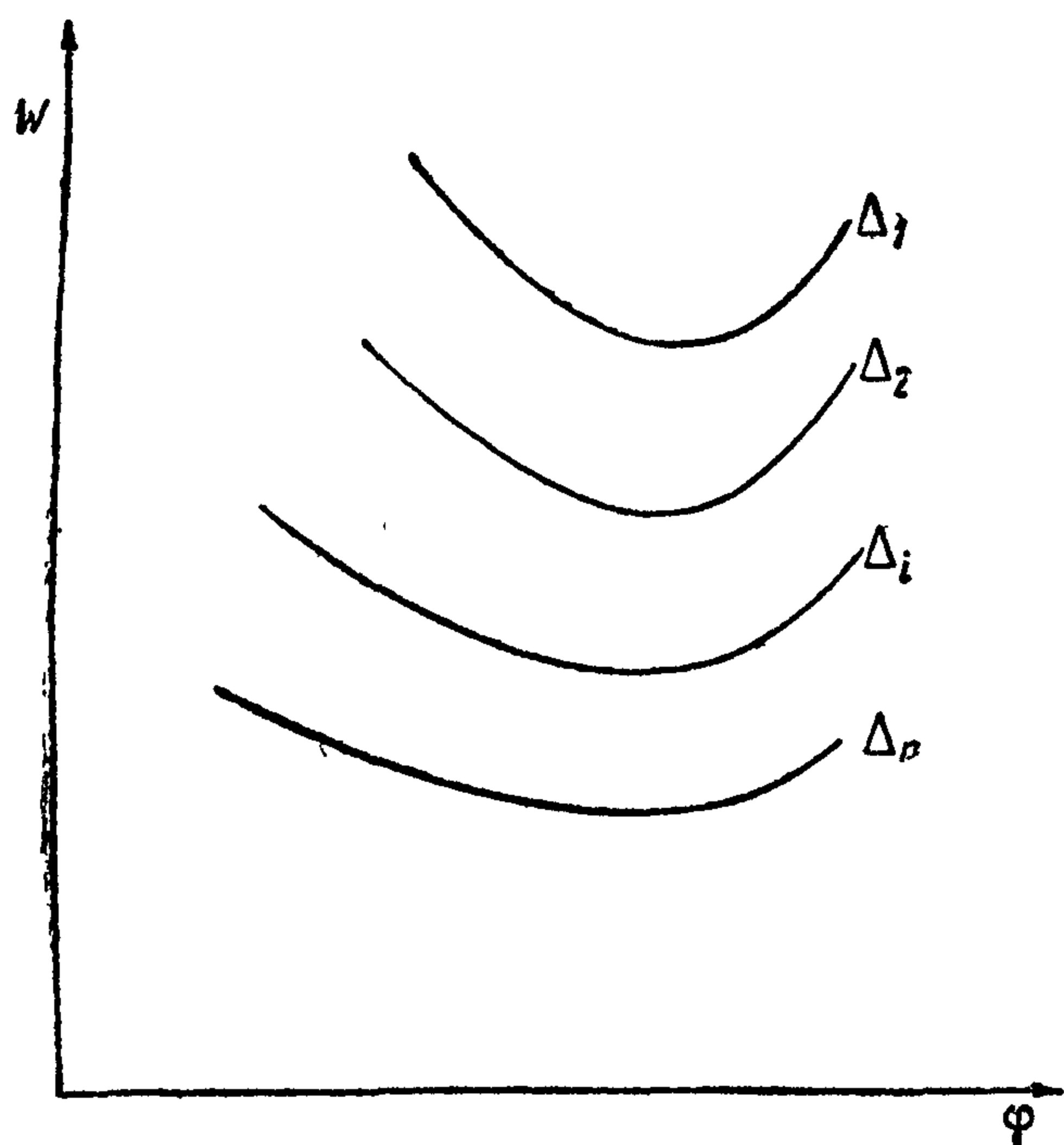
вычисляются соответствующие им веса.

Наконец, строится график $(\Delta P)_{\max} = \phi(G)$, с помощью которого и находят предельный вес самолета $G_{\text{пред}}$ из условия, что $\Delta P = 0$ (фиг. 244).

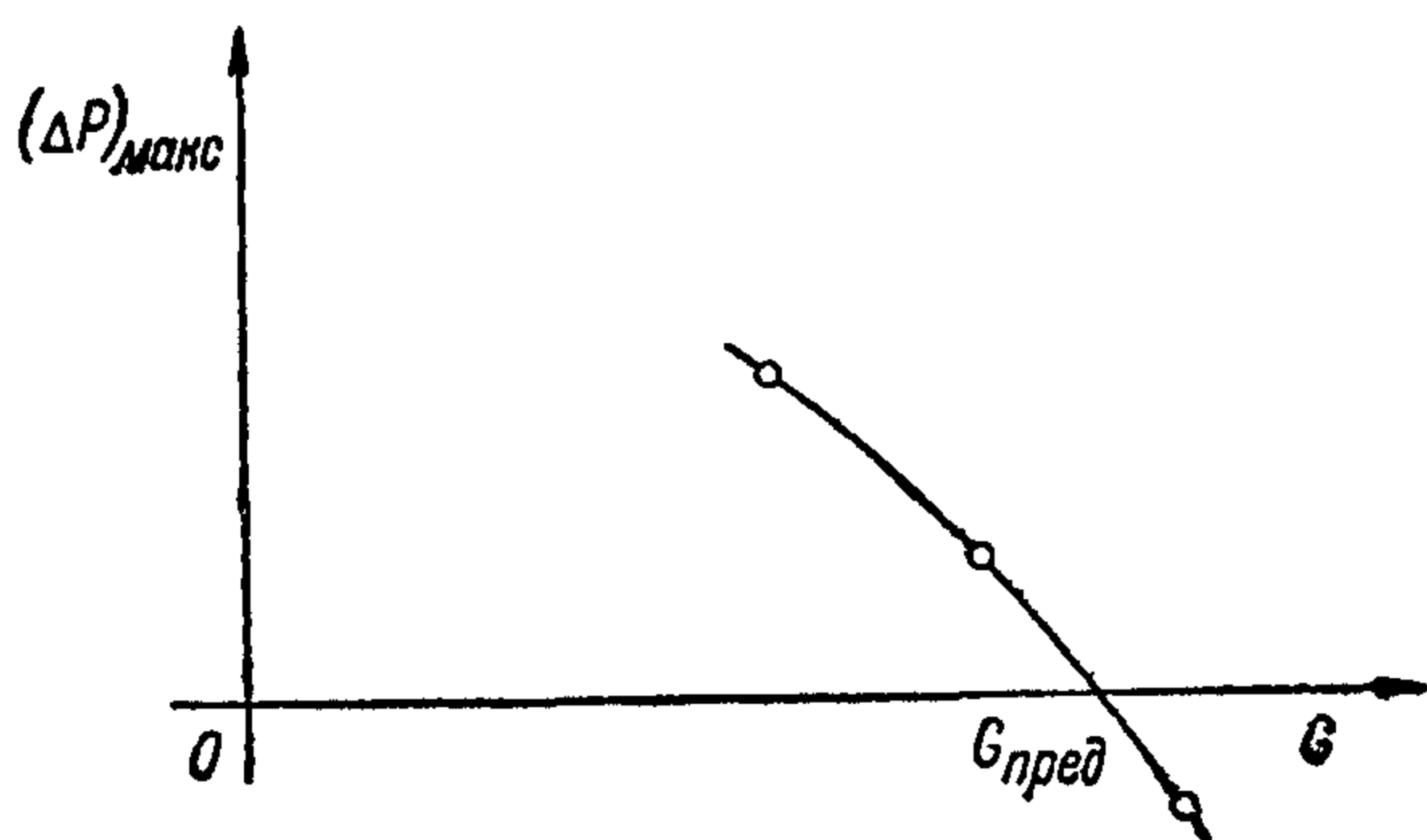
Формула Дила для расчета предельного веса⁶. В результате обработки статистических данных Дилем была предложена формула:

$$G_{\text{пред}} = G + k \frac{N}{t},$$

позволяющая вычислить предельный для отрыва вес, если для



Фиг. 243



Фиг. 244

данного гидросамолета известно (из расчета, или по испытаниям в натуру) время разбега t при каком-либо его весе G .

В этой формуле G — в тоннах, мощность N — в лошадиных силах, время t — в секундах, и $k = 0,0627$.

Влияние различных факторов на разбег гидросамолета

Выбор наиболее выгодного угла установки крыла относительно строительной горизонтали лодки

Угол установки крыла относительно строительной горизонтали лодки $\varphi_{\text{кр}}$ обычно выбирается не из соображений быстрого разбега, а из соображений наилучшего удовлетворения требований максимальной и посадочной скорости. С точки зрения максимальной скорости угол $\varphi_{\text{кр}}$ должен обеспечивать минимум аэродинамического сопротивления гидросамолета при угле атаки $\alpha \approx 2 - 3^\circ$. Это требует, чтобы

$$\varphi_{\text{кр}} \approx 2 - 3^\circ.$$

С точки зрения посадочной скорости, $\varphi_{кр}$ должен обеспечить посадочный угол атаки $\alpha \approx 14 - 15^\circ$ при посадке лодки на два редана т. е. при угле дифферента, равном углу продольной килеватости межреданной части лодки. Это требует $\varphi_{кр} \approx 15^\circ - \gamma_1$. Для современных летающих лодок обычно принимают

$$\varphi_{кр} \approx 4^\circ - 6^\circ \quad (\text{стр. 90}).$$

Расчет же наивыгоднейшего угла $\varphi_{кр}$ с точки зрения быстрого разбега можно вести, выбирая $\varphi_{кр}$ из условия минимума полного сопротивления при скорости, близкой к V_0 , ввиду того, что аэродинамическая подъемная сила Y и сопротивление X при критической скорости оказывают сравнительно небольшое влияние на полное сопротивление гидросамолета расчетную скорость обычно принимают равной $0,85 V_0$;

для этой скорости строят кривую минимального, для каждой нагрузки на воду, гидродинамического сопротивления в функции Δ и кривую соответствующих ей наивыгоднейших углов дифферента $\varphi = \varphi(\Delta)$,

задаются рядом значений угла атаки крыла, определяют соответствующие им Y, X, Δ, W, φ и полное сопротивление $W + X$,

вычисляют $\varphi_{кр} = \alpha - \varphi$ и строят кривую $W + X = f(\varphi_{кр})$, значение $\varphi_{кр}$, соответствующее минимуму ее, представляет первое приближение для наивыгоднейшего угла установки крыла с точки зрения быстрого разбега.

Для уточнения расчета следует задаться двумя, тремя значениями $\varphi_{кр}$, близкими к найденному, и для каждого из них произвести расчет времени и длины разбега, угол $\varphi_{кр}$ тогда выбирается из условия минимума времени или длины разбега. В большинстве случаев выбранное таким способом значение $\varphi_{кр}$ имеет порядок $7 - 9^\circ$

Выбор наивыгоднейшего угла отклонения щитков-закрылков

Применение щитков-закрылков оказывает на разбег гидросамолета следующее влияние

- а) вследствие повышения $c_{y, макс}$ скорость отрыва уменьшается,
- б) вследствие увеличения подъемной силы крыльев нагрузка на воду и, следовательно, сопротивление воды уменьшаются,
- в) аэродинамическое сопротивление гидросамолета возрастает

Первые два обстоятельства благоприятствуют разбегу, последнее, наоборот, влияет отрицательно

Общих формул, позволяющих оценить наивыгоднейший угол отклонения щитков-закрылков для каждого конкретного гидросамолета, не существует. В каждом случае для разрешения этого вопроса необходимо проделать расчеты разбега для различных углов отклонения щитков-закрылков

На основании расчетной практики можно высказать следующие общие положения

1) применение щитков-закрылков увеличивает полное сопротивление гидросамолета, что получается за счет слишком большого увеличения аэродинамического сопротивления,

2) при неизменном угле установки крыльев щитки-закрылки дают уменьшение времени и длины разбега, если гидросамолет имеет средней величины нагрузку на 1 л. с ($\approx 6 \text{ кг/л. с}$) и ухудшение разбега для гидросамолетов с большой нагрузкой на 1 л. с ($\approx 10 \text{ кг/л. с}$).

Влияние ветра на разбег

Влияние встречного ветра сказывается следующим образом на разбеге гидросамолета (фиг. 245)

а) скорость отрыва гидросамолета относительно воды уменьшается;
 б) кривые подъемной силы крыльев, тяги винтов и аэродинамического сопротивления сдвигаются, приблизительно параллельно, в сторону меньших скоростей относительно воды;

в) нагрузка на воду при каждой данной скорости относительно воды уменьшается; это вызывает снижение гидродинамического сопротивления;

г) время и длина разбега гидросамолета уменьшаются; на основании обработки большого числа испытаний на разбег при различных скоростях ветра для ряда английских гидросамолетов⁸ Джонсоном были предложены следующие формулы для расчета времени и длины разбега при ветре:

$$t = t_{ш} \left(1 - \frac{V_{ветра}}{V} \right),$$

$$L = L_{ш} \left(1 - \frac{V_{ветра}}{V_0} \right)^2;$$

индексом „ш“ отмечены значения времени и длины разбега в штиль.

Поверочный расчет балансировки и управляемости гидросамолета при разбеге

Задачей расчета является определить:

- 1) угол деградации стабилизатора относительно хорды крыла, обеспечивающий разбег гидросамолета на наиболее выгодных режимах;
- 2) углы отклонения рулей высоты, необходимые для балансирования машины на наиболее выгодных режимах при нормальной для полета деградации стабилизатора;

3) расчет усилий на ручке управления при этом.

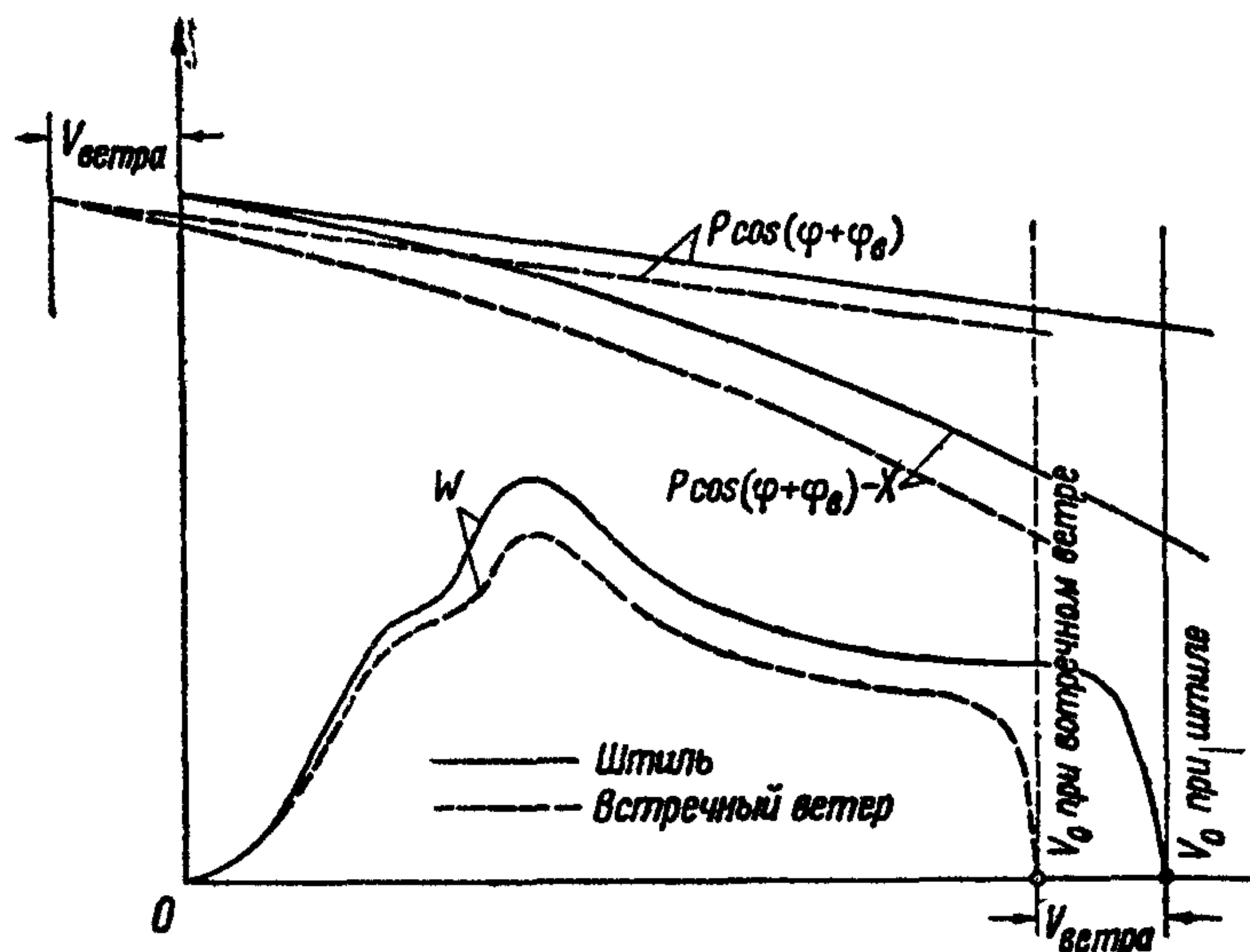
Расчет рекомендуется производить лишь для двух скоростей разбега.

- а) для критической скорости и
- б) для скорости, приблизительно равной $0,8 V_0$.

Основным уравнением для расчета является уравнение моментов:

$$Pa_p + M_a + M_r = 0.$$

Момент гидродинамических сил M_r в функции угла диферента φ берется для каждой из скоростей с моментных кривых, снятых при буксировочных испытаниях модели при нагрузках на воду, соответствующих выбранным скоростям. (Для упрощения эксперимента при снятии моментных кривых, изменением Δ в зависимости от φ обычно пренебрегают и считают, при данной скорости, величину Δ постоянной. Это является вполне допустимым для режима критической скорости, когда подъемная сила крыльев, вообще, мала, а гидродинамические моменты весьма значительны; при скоростях глиссирования следует иметь в виду, что погрешность, получающаяся в величине гидродинамических моментов, при таком допущении может быть значительной).



Фиг. 245

Для каждой расчетной скорости задаются сперва рядом значений угла деградации стабилизатора $\varphi_{ст}$. Вычисляют соответствующие им моменты $M_a + Pa_p$ в функции угла диферента. На общем графике строят кривые

$$-M_r = f(\varphi)$$

и

$$M_a + Pa_p = \phi(\varphi, \varphi_{ст})$$

Из пересечения первой кривой с семейством вторых определяют зависимость

$$\varphi_{ст} = \psi(\varphi),$$

позволяющую оценить эффективность горизонтального оперения и найти значение $\varphi_{ст}$ для желаемого значения угла φ .

Сопоставляя вычисленные таким образом значения $\varphi_{ст}$ для каждой из расчетных скоростей, выбирают значение, являющееся наиболее выгодным для всего разбега. Аналогичный расчет производится для угла отклонения руля высоты δ_p в при значении $\varphi_{ст}$, выбранном из условий полета. Расчет усилий на ручке управления производится по общему методу (том I, стр. 399).

БИБЛИОГРАФИЯ

- 1 Jones E. T. — Measurement of the full scale water resistance of a III F seaplane in steady and accelerated motion — ARC R and M 1934, N 1591
 - 2 Gassner A. A. — Take off performance of flying boats — „Aero digest“ 1935, v XXVII, N 5, p 24—25, 38, 8 ill
 - 3 Jones E. T. — Seaplane take off weights — Aircraft engineering* 1934, v VI, N 70, p 330—332, 4 ill, 1935, v VII N 71, p 8—10, 2 ill, N 72, p 37—38, 40, 3 ill
 - 4 Perring W. G. A. and Johnston L. — The hydrodynamic forces and moments on simple planing surfaces and an analysis of the hydrodynamic forces and moments on a flying boat hull — ARC R and M 1935, N 1646
 - 5 Wood K. D. — Technical Aerodynamics, — NY College of Engineering, Cornell University, 1935, 280 p
 - 6 Diehl N. G. — The estimation of maximum load capacity of seaplanes and flying boats — NACA Rep 1932, N 453
 - 7 Perring W. G. A. — Effect of wing setting on water performance of seaplanes — ARC R and M 1935, N 1656
 - 8 Jones E. T. — The effect of wind on the take off of seaplanes — ARC R and M 1934, N 1593
-

**УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ ГЛИССИРОВАНИИ.
КАЧКА**



ПРОДОЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ГИДРОСАМОЛЕТА ПРИ ГЛИССИРОВАНИИ

Продольная устойчивость при глиссировании гидросамолетов является необходимым условием безопасности старта. Систематические наблюдения за поведением обычных моделей при испытании их в бассейне на постоянных скоростях показывают, что колебания моделей в большинстве случаев возникают на скоростях, близких к скорости отрыва второго редана и, как правило, исчезают по мере увеличения скорости буксировки (при глиссировании на одном редане). Обычные модели имеют массы и моменты инерции, отличные от требуемых законом динамического подобия, колебания их не воспроизводят движения натуральных гидросамолетов, поэтому устойчивость последних должна изучаться другими, специальными способами, отличающимися от методов, применяемых при обычных буксировочных испытаниях.

Колебания в направлении движения мало влияют на устойчивость и поэтому при исследовании устойчивости глиссирования гидросамолетов возможно ограничиться рассмотрением режимов постоянных скоростей.¹

Следуя методам общей теории бесконечно малых колебаний, Глауэрт и Перринг принимают за критерий устойчивости глиссирования гидросамолетов вычисленные для ряда постоянных скоростей значения дискриминанта Рута (R)

$$R = BCD - AD^2 - B^2E.$$

Устойчивое глиссирование определяется условием, заключающимся в том, чтобы коэффициенты A, B, C, D и E были положительны и имело место неравенство $R > 0$, величина дискриминанта R принимается за меру устойчивости гидросамолета на данном режиме.

Входящие в выражение R величины A, B, C, D, E представляют собой коэффициенты уравнения

$$A\mu^4 + B\mu^3 + C\mu^2 + D\mu + E = 0$$

(где $\mu = \frac{\vartheta V_0}{g}$ и ϑ — коэффициент затухания), определяющего характер возмущенного движения гидросамолета при малых отклонениях его от режимов стационарного движения. Для вычисления этих коэффициентов необходимо знание производных от аэро-гидродинамических сил и моментов, действующих на рассматриваемый гидросамолет.

Аналитическое выражение гидродинамических производных через параметры соответствующего установившегося движения, данное в работе Глауэрта и Перринга, основано на приближенных формулах для подъемной силы и момента плоской глиссирующей пластины.

На основании сделанного по этому способу большого количества числовых примеров Глауэрт и Перринг¹ приходят к следующим общим выводам о влиянии различных параметров, на устойчивость гидросамолета при взлете:

А) в случае глиссирования на двух реданах

а) демпфирующий эффект крыльев и оперения оказывает незначительное влияние на устойчивость и не всегда ведет к увеличению ее,

б) имеется область положений центра тяжести по длине, соответствующих неустойчивому глиссированию,

в) устойчивость несколько увеличивается при смещении центра тяжести вверх и при уменьшении момента инерции,

г) существует область неустойчивости для действующих на гидросамолет аэродинамических моментов, момент, слишком сильно наклоняющий гидросамолет на нос, может вызвать неустойчивость, если при этом гидросамолет выйдет на один редан,

д) существует область расстояний между реданами, внутри которой гидросамолет становится неустойчивым,

е) устойчивость гидросамолета повышается с увеличением ширины и угла установки заднего редана, а также с подъемом его относительно переднего,

Б) в случае глиссирования на одном редане

по мере увеличения скорости гидросамолет приобретает тенденцию к продольным колебаниям, что может быть вызвано происходящим при этом уменьшением угла атаки,

неустойчивость глиссирования может возникнуть также вследствие того, что

а) центр тяжести вынесен слишком вперед,

б) центр тяжести расположен слишком высоко,

с) момент инерции слишком мал,

д) действует аэродинамический момент, наклоняющий гидросамолет на нос,

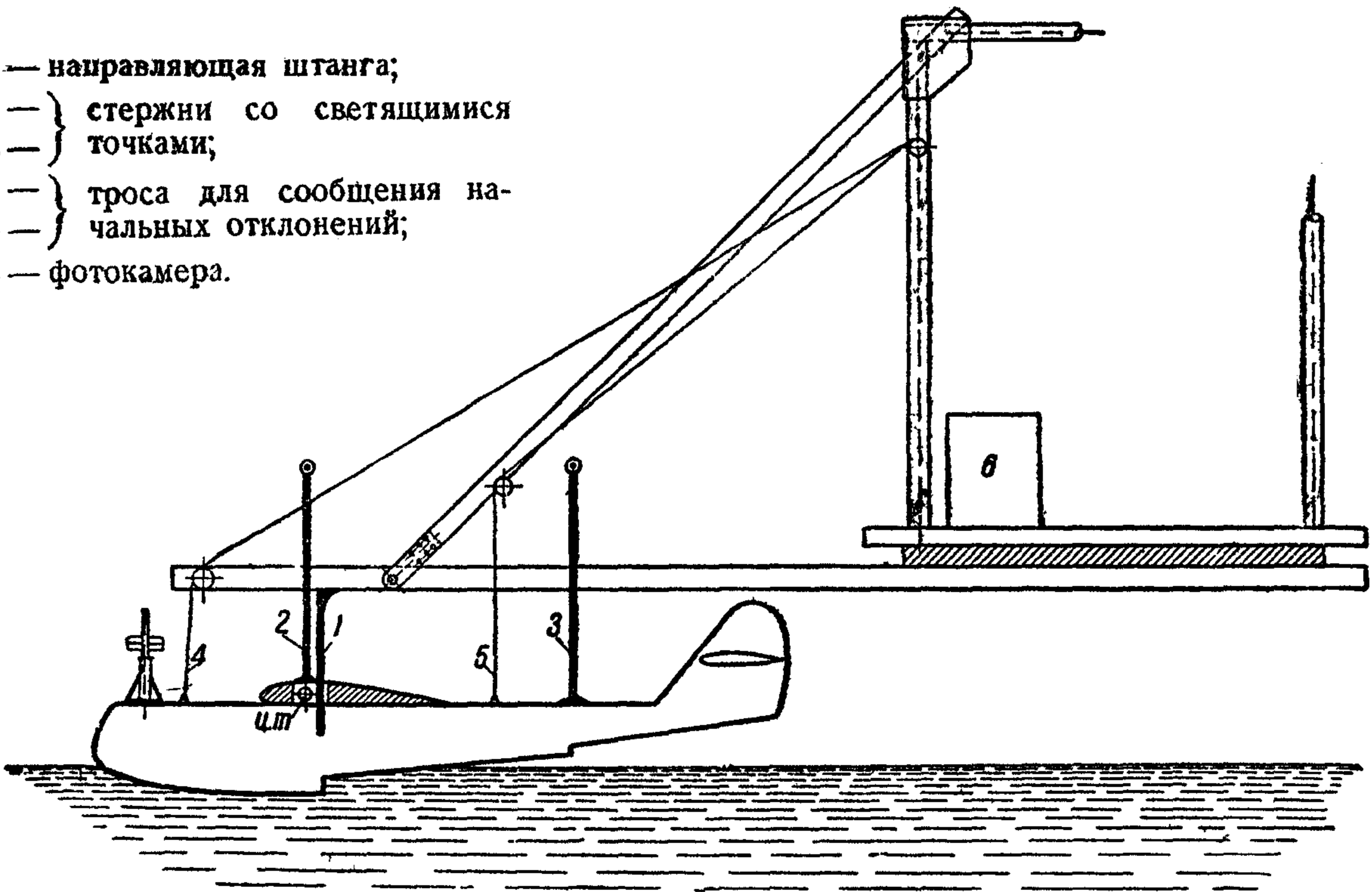
е) слишком велика аэродинамическая устойчивость гидросамолета.

Некоторое совпадение этих выводов с результатами эксперимента позволяет предположить, что влияние главных факторов, управляющих устойчивостью гидросамолета при взлете, установлено достаточно правильно анализом числовых примеров, проведенным Глауэртом и Перрингом. Однако, в виду того, что эти выводы были получены расчетами, произведенными на основе достаточно грубых приближений при вычислении гидродинамических производных, относиться к ним следует критически и применение их в практике гидросамолетостроения может быть допущено лишь как сугубо ориентировочное.

Модельные испытания в настоящее время являются наиболее распространенным способом определения устойчивости гидросамолета, (эти испытания, однако, не являются совершенно надежным способом и могут дать другие результаты по сравнению с натурой). Применяемые для этой цели модели должны быть динамически подобными, т. е., помимо геометрического подобия обводов днища, модели должны иметь соответствующие масштабу массы и моменты инерции относительно поперечной оси, кроме того, модели должны иметь крылья и оперение, подобные полноразмерному гидросамолету. На фиг. 246 показана схема таких испытаний. Определение устойчивости движения модели при буксировке ее на постоянных скоростях производится путем фиксирования колебаний ее после приложения внешнего возмущающего импульса, сообщающего модели малые отклонения угла φ и всплывания центра тяжести z от значений их для данного стационарного движения. Запись колебаний модели (фиг. 247) производится съемкой на непрерывно движущуюся киноплёнку двух светящихся точек, связанных с кормой и ц. т. модели. Установка перед объективом аппарата тарированного вращающегося диска с прорезами позволяет координировать колебания модели по времени. В тех случаях, когда расчленение полученных таким образом записей на угловые $\varphi(t)$ и вертикальные $z(t)$ колебания модели позволяют вычислить коэффициенты затухания их

$$\delta_{\varphi} = \frac{\ln \frac{\varphi}{\varphi_0}}{t} \quad \text{и} \quad \delta_z = \frac{\ln \frac{z}{z_0}}{t}$$

- 1 — направляющая штанга;
- 2 — } стержни со светящимися
- 3 — } точками;
- 4 — } троса для сообщения на-
- 5 — } чальных отклонений;
- 6 — фотокамера.



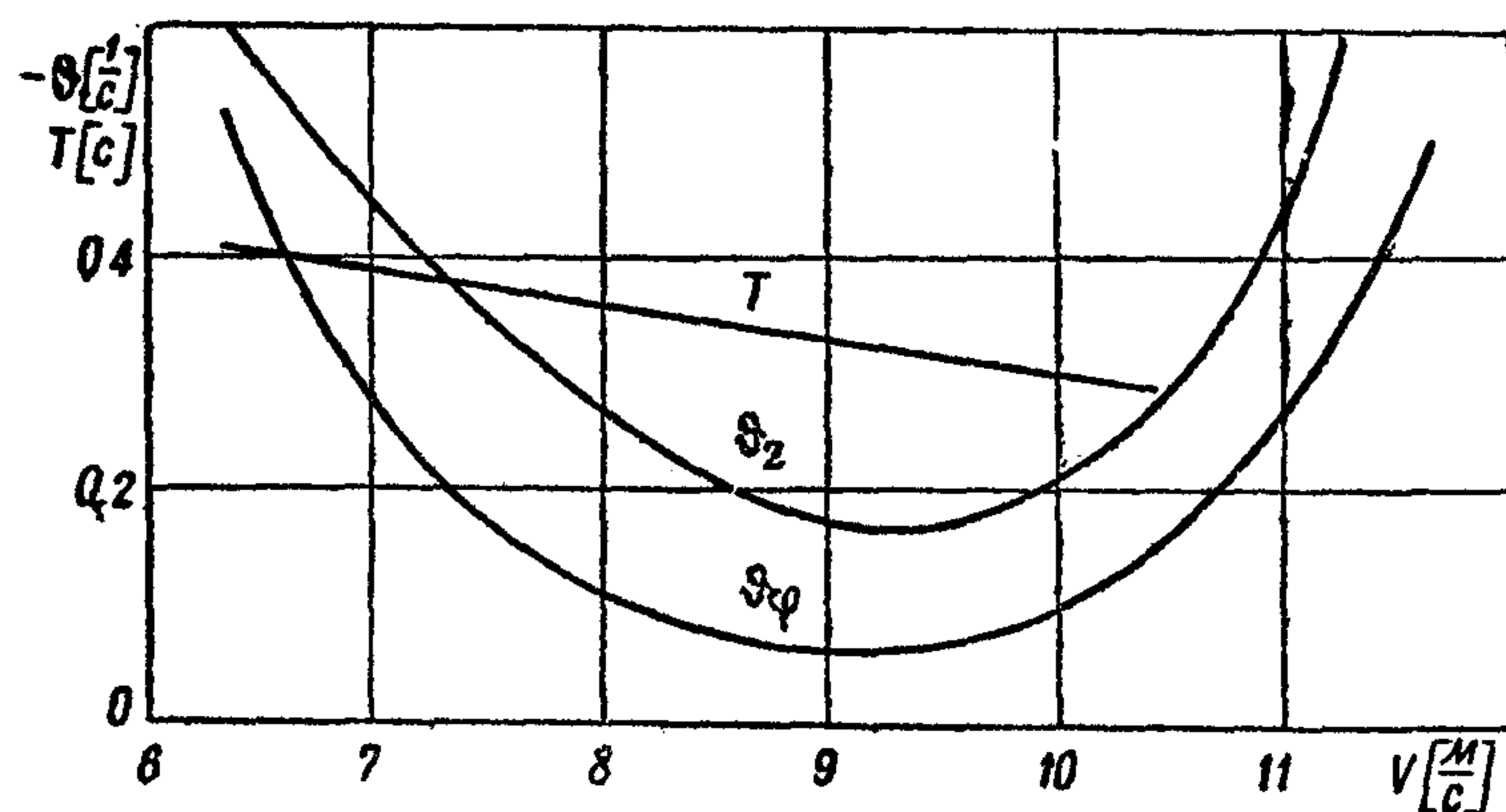
Фиг. 246



Фиг. 247

Кривые этих коэффициентов, построенные по скорости (фиг. 248), являются характеристиками колебательных движений модели при данных условиях нагрузки.

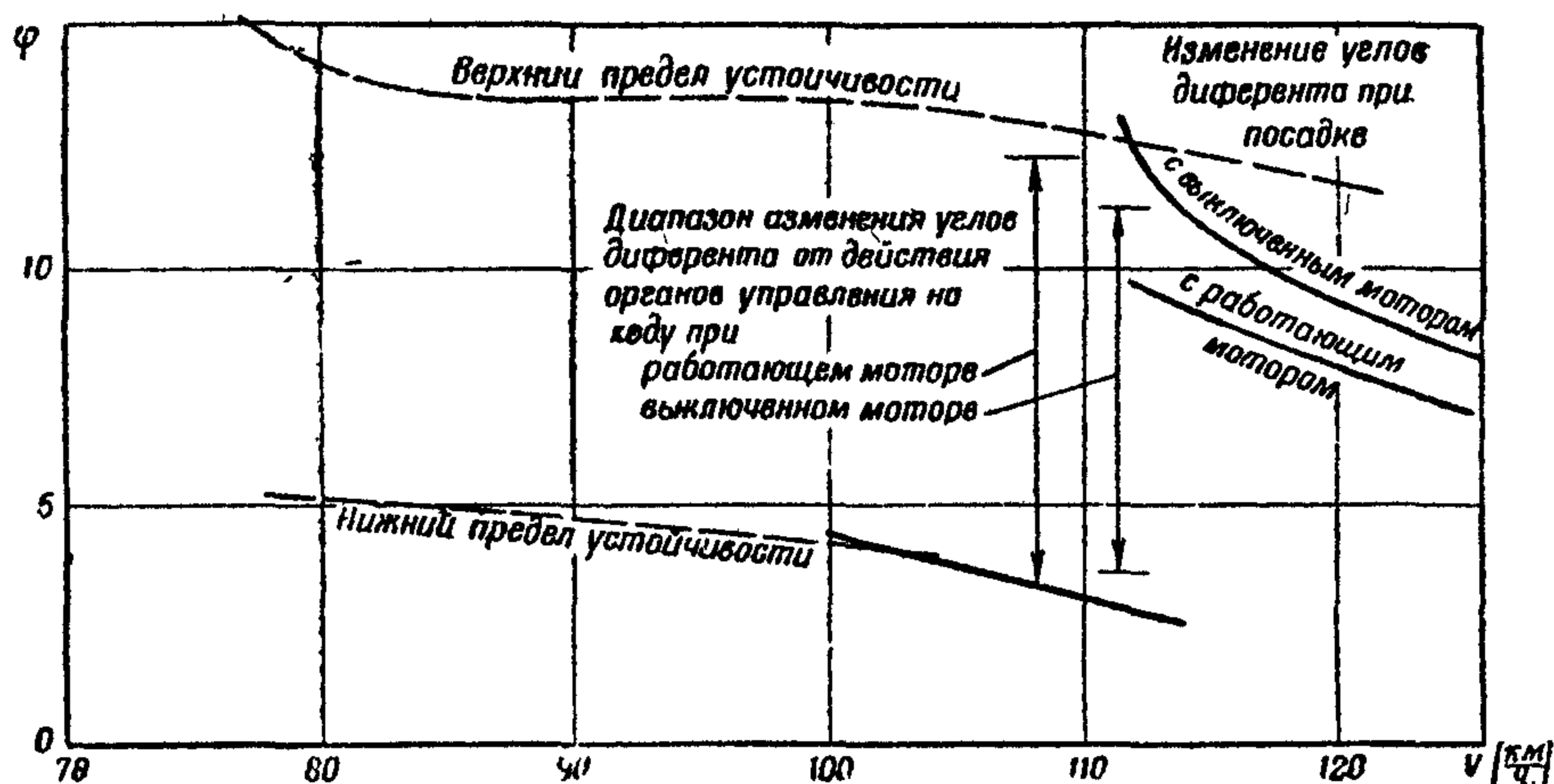
Для изучения устойчивости моделей при наличии ускорений аналогичные испытания их производятся в ускоренном движении. В этом случае оценка поведения модели делается преимущественно качественно.



Фиг. 248

Испытания динамически подобных моделей позволяют также установить область углов диферента, безопасных для гидросамолета с точки зрения устойчивости его при старте (фиг. 249). Установленный модельными испытаниями диапазон углов устойчивых режимов должен быть сопоставлен с предельными (по углам) условиями взлета и посадки гидросамолета

с тем, чтобы режимы возможной неустойчивости были заблаговременно обнаружены. Из примера приведенного на фиг. 249, видно, что для рассматриваемого здесь гидросамолета диапазон располагаемых моментов управления не выходит за границу верхнего предела зоны устойчивости. Нижняя граница углов оказывается внутри зоны располагаемых моментов.



Фиг. 249

на скорости $V \approx 100$ км/ч и поэтому в случае неправильного пилотирования гидросамолет на этих режимах может войти в колебания. Верхний предел безопасных углов в данном случае представляет опасность при посадке гидросамолета ($V \approx 110$ км/ч). Небольшое увеличение посадочной скорости (на меньших углах) создает значительный запас устойчивости.

В настоящее время нет возможности рекомендовать общие рецепты для создания устойчивых при разбеге гидросамолетов; необходимо каждый гидросамолет проверять на устойчивость глиссирования модельными испытаниями в бассейне.

БИБЛИОГРАФИЯ

- 1 Perring W. G. A. and Glauret H — Stability on the water of a seaplane in the planing condition — ARC R and M 1933, N 1493
- 2 Perring W. G. A. and Hutchinson J. L. — Full scale and model porpoising tests of the Singapore HC — ARC R and M 1936, N 1712
- 3 Coombes L. P., Perring W. G. A. and Johnston L. — The use of dynamically similar models for determining the porpoising characteristics of seaplanes — ARC R and M 1936, N 1718
- 4 Седов Л. И. — Теория нестационарного глиссирования и движения крыла со сбегающими вихрями. — «Труды ЦАГИ» 1936, № 252
- 5 Гуревич М. И. — К вопросу о продольной устойчивости однореданного глссера — «Техн. заметки ЦАГИ» 1936, № 96

КАЧКА ГИДРОСАМОЛЕТА

Всякое плавающее судно, выведенное некоторым импульсом из состояния устойчивого равновесия, будет совершать колебания, которые при отсутствии новых импульсов затухают. Процесс этих колебаний носит название качки. В зависимости от типа колебаний продольных, поперечных или вертикальных, качка получает соответствующее наименование.

Качка на волне может привести к переворачиванию гидросамолета и к поломке от удара крыла об воду; для двухлодочных гидросамолетов должны быть внимательно рассмотрены вопросы о нагрузках при качке на межлодочную часть.

В основу теории качки положено допущение о том, что плавающее судно не изменяет распределения давлений в окружающей его воде, воздействие которой сводится к силе поддержания. Кроме того, в первом приближе-

нии предполагают, что отклонения от положения равновесия малы, что судно симметрично относительно диаметральной плоскости, что продольная ось инерции горизонтальна, и что центр тяжести гидросамолета совпадает по вертикали с центром тяжести площади ватерлинии.

Качка на тихой воде

Амплитуды колебаний при качке на спокойной поверхности с течением времени уменьшаются, так как на возмущение окружающей гидросамолет воды расходуется энергия (расчет этой энергии для гидросамолета показал очень большие расхождения с проведенными опытами).

Периоды колебаний находятся по формулам.
поперечная качка

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{J_x + J'_x}{Gh}}$$

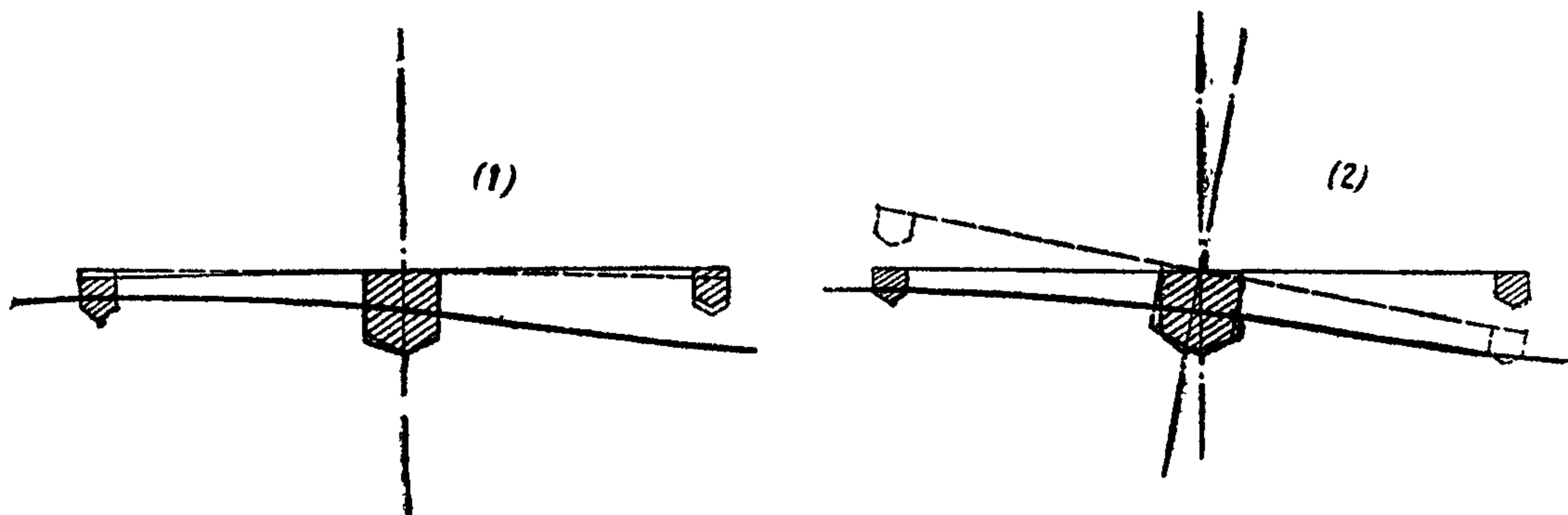
продольная качка

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{J_y + J'_y}{Gh_L}}$$

Здесь J_x и J_y — моменты инерции самолета относительно осей, проходящих через центр тяжести, J'_x и J'_y — суммарные присоединенные моменты инерции воды и воздуха относительно тех же осей, h_B и h_L — поперечная и продольная метацентрические высоты и G — вес гидросамолета.

Формулы получены в предположении замены кривой остойчивости, в пределах малых наклонов, прямой линией.

Некоторые особенности имеет поперечная качка гидросамолета с поддерживающими поплавками, у которого начальная метацентрическая высота отрицательна. Для гидросамолета этого типа возможны два рода колебаний. 1) около положения устойчивого равновесия, которое имеет место при угле крена $\pm \theta_0$ и 2) около положения неустойчивого равновесия (угол крена $\theta = 0$). Наличие того или иного типа колебаний обуславливается начальным отклонением. При начальном отклонении меньше некоторого θ_x сообщенная гидросамолету энергия недостаточна для того, чтобы он мог перейти положение неустойчивого равновесия и, следовательно, имеют место колебания первого вида. При отклонении большем θ_x происходят



Фиг. 250

колебания второго вида (фиг. 250). В действительности всегда, через некоторое время после начала качки на тихой воде, остаются только колебания первого вида.

Качка на волне

Явление качки на волне, обычно, рассматривается в предположении, что волна имеет заданную цилиндрическую форму, и присоединенные массы, моменты инерции и коэффициенты сопротивления те же, что и при качке на спокойной поверхности.

Колебания на волне состоят из собственных колебаний с периодом, равным периоду качки на спокойной поверхности T и вынужденных колебаний с периодом, равным периоду волны τ .

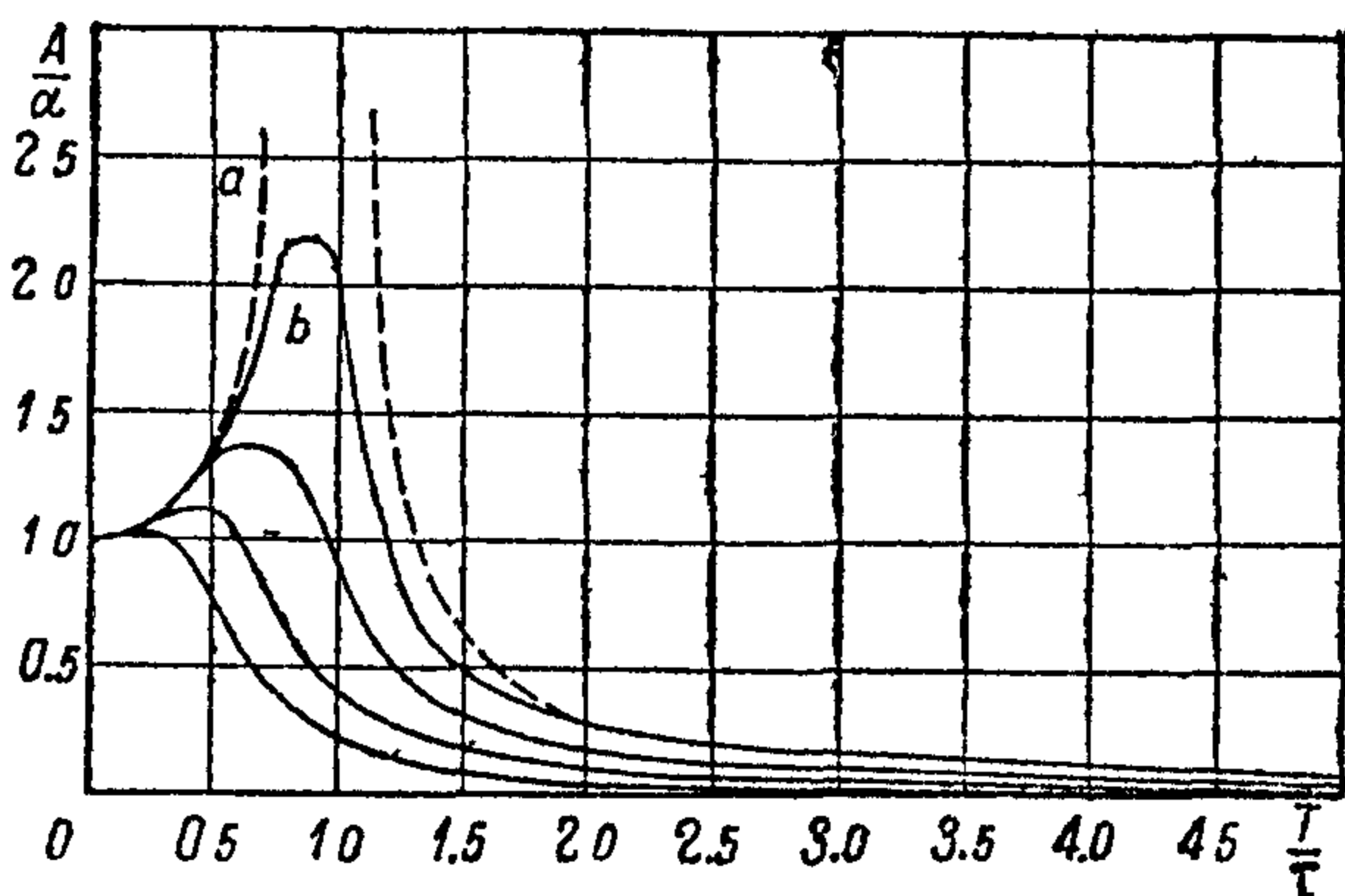
Если волны, на которых находится гидросамолет, имеют одинаковые элементы (период, высоту, длину и т. д.), то собственные колебания постепенно затухают и остаются одни вынужденные.

Амплитуда A вынужденных колебаний зависит от размеров волны, очертаний корпуса гидросамолета, отношения периода колебаний гидросамолета к периоду волны, сопротивления колебаниям и распределения масс гидросамолета.

От размеров волны и очертаний корпуса гидросамолета зависит величина \bar{a} , которой пропорциональна амплитуда A . Коэффициент пропорциональности \bar{A}

$$\bar{A} = \frac{A}{a}$$

носит название относительной амплитуды; он зависит от отношения периода колебаний гидросамолета к периоду волны, сопротивления колебаниям и распределения масс гидросамолета. Для наиболее простого случая, когда



Фиг. 251.

сопротивление пропорционально скорости ($M = N \frac{d\theta}{dt}$), эта зависимость представлена на фиг. 251. Кривые на этой фигуре соответствуют различным постоянным значениям коэффициента затухания ϑ :

$$\vartheta = \frac{N}{J_x + J'_x}$$

Практически встречаемые значения ϑ лежат в интервале от a до b (a соответствует $\vartheta = 0$; b со-

ответствует $\vartheta = 0,25$; для двухлодочных и двухпоплавковых гидросамолетов величина ϑ может достигать до 0,5).

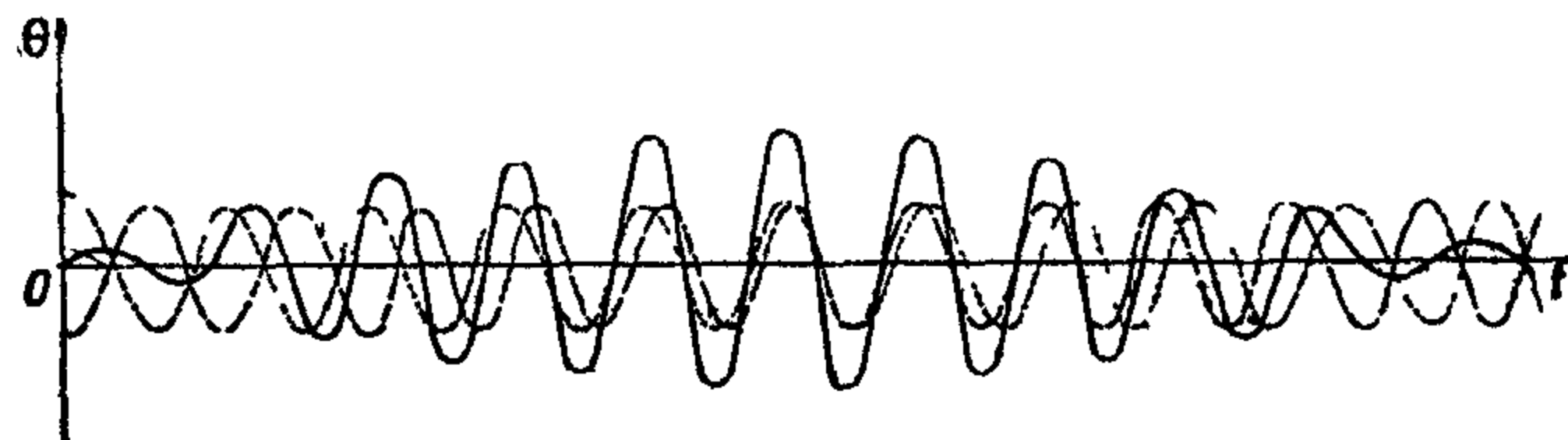
Если период собственных колебаний близок к периоду волны, то возникает явление резонанса, при котором с каждым размахом амплитуда качки увеличивается до некоторого предела (фиг. 251).

При колебании гидросамолетов с поддерживающими поплавками возникновение резонанса невозможно потому, что период собственных колебаний зависит от амплитуды и, следовательно, если τ и будет в какой-то момент равен периоду волны, то в следующий момент это равенство нарушится, так как изменится амплитуда.

Если элементы одной волны отличаются от элементов другой, то собственные колебания не уничтожаются и кроме явления резонанса могут возникнуть так называемые „биения“. Явление биений заключается в том, что импульсы от волн постепенно то увеличивают, то уменьшают амплитуду собственных колебаний, причем это увеличение может быть весьма значительно. На фиг. 252 показана схема образования биений (пунктиром обозначены собственные и вынужденные колебания, сплошной линией — их сумма, образующая биение).

Если гидросамолет образует с гребнями волн угол φ , а амплитуда колебаний при $\varphi=0$ была A_0 , то выражение для амплитуды колебаний может быть представлено так:

$$A_\varphi = A_0 \cos \varphi.$$



Фиг. 252

При новом положении гидросамолета ослабление качки в одном направлении, например в поперечном, сопровождается усилением в другом — продольном.

Качка движущегося гидросамолета на волне

Если период волн относительно неподвижной системы координат $\tau = \frac{\lambda}{c}$ (истинный период), то период относительно движущегося со скоростью V (фиг. 253) гидросамолета (кажущийся период) будет:

$$\tau_1 = \tau \frac{1}{1 - \frac{V \sin \varphi}{c}}$$

(здесь λ — длина волны и c — скорость перемещения волны).

Если $V > V_{кр}$ — скорости на горбе сопротивления, то формулы не действительны, так как эта задача решается теорией устойчивости при глиссировании.

Когда гидросамолет движется параллельно гребням волн, тогда $\varphi=0$ и $\tau_1 = \tau$, т. е. имеет место поперечная качка с периодом, равным истинному периоду волн. Когда гидросамолет движется перпендикулярно к гребням волн $\varphi = \frac{\pi}{2}$, поперечная качка отсутствует, а период продольной качки будет:

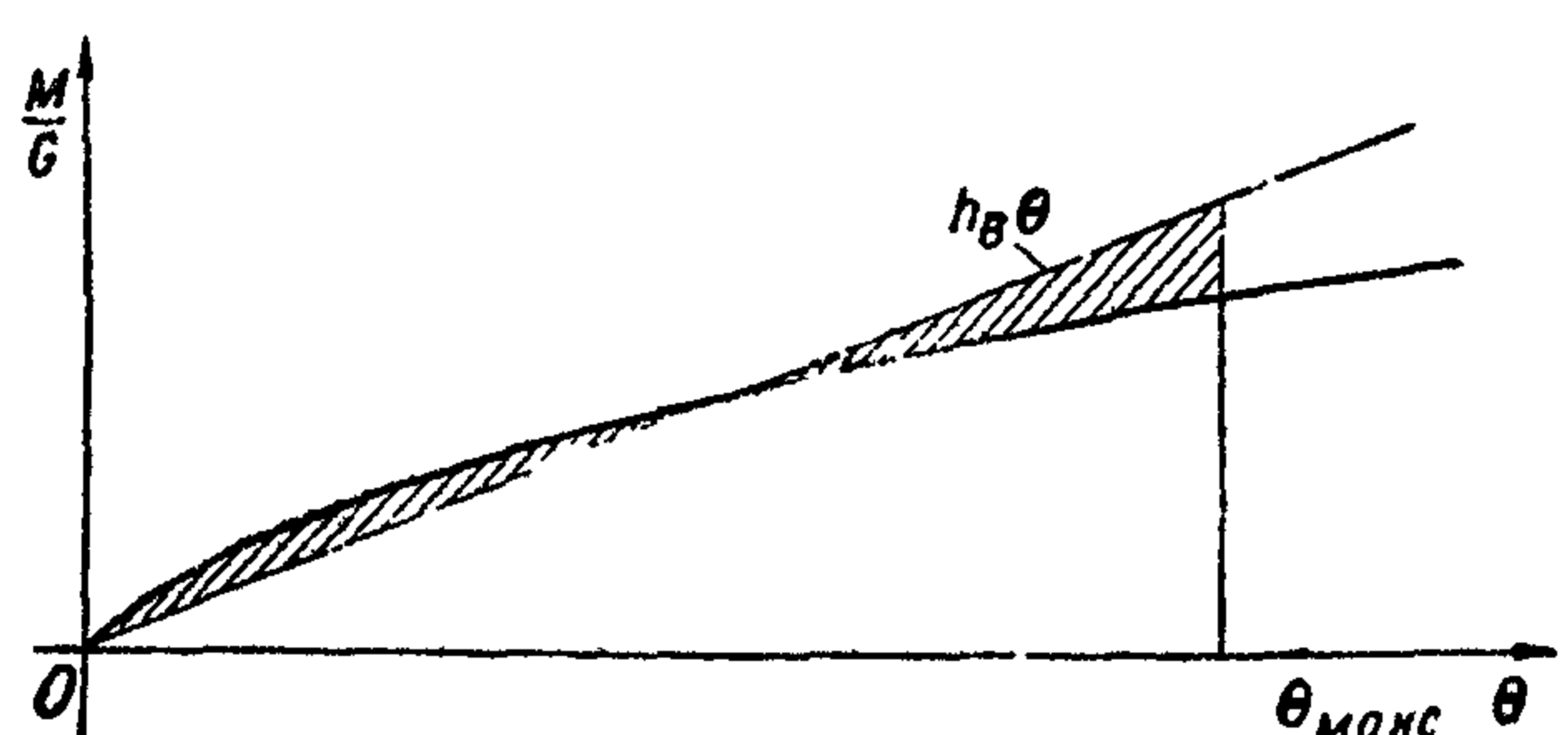
$$\tau_1 = \tau \frac{1}{1 - \frac{V}{c}}$$

При расчете резонанса за период волн следует брать кажущийся период.

Расчет периода колебаний

Определение метацентрической высоты

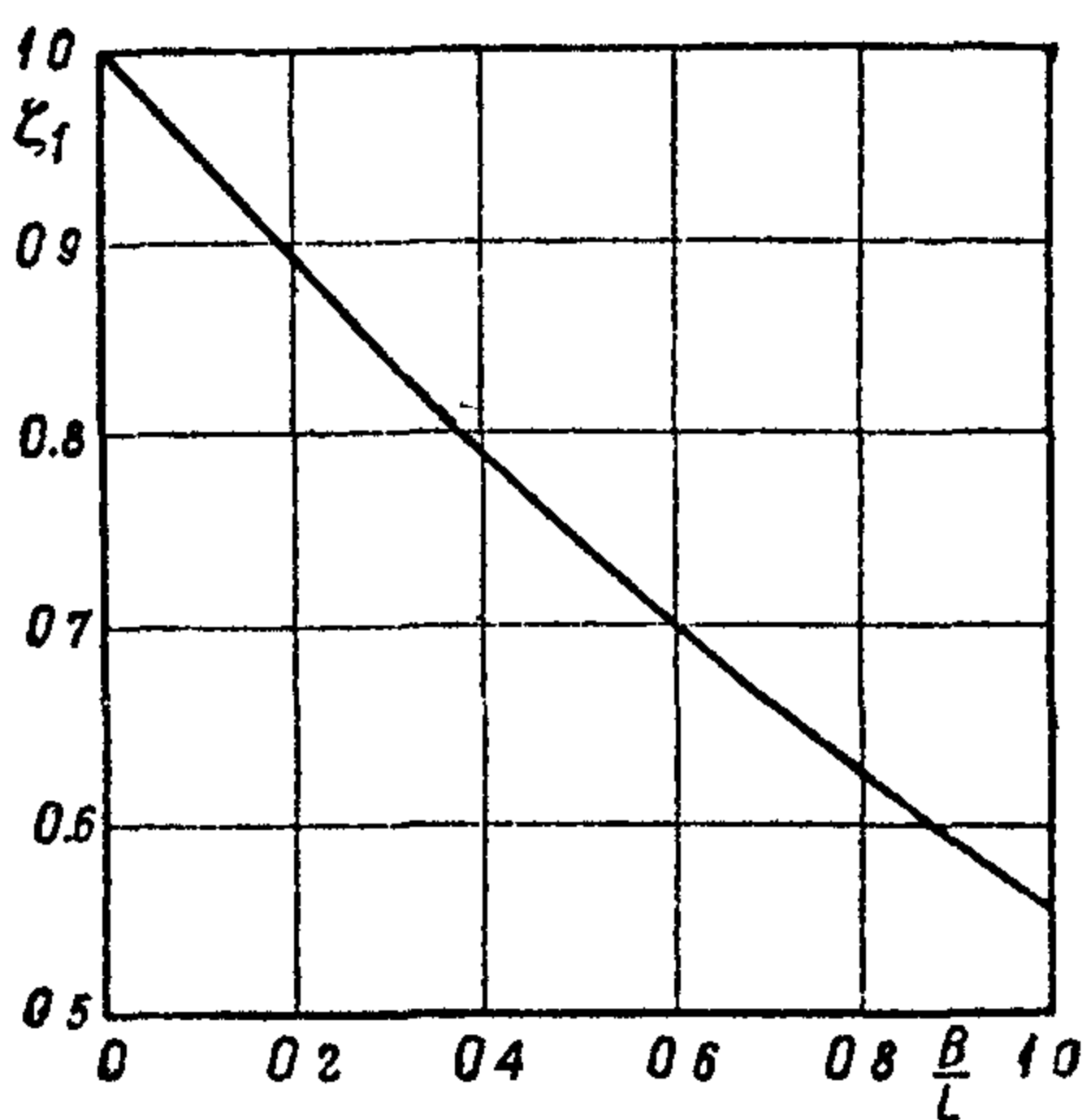
Метацентрическая высота h_B определяется из условия равенства работ (на диаграмме Рида площадей) на участке от 0 до θ_{\max} у кривой устойчивости и прямой с tg наклона, равным h_B (фиг. 254). За θ_{\max} следует считать наибольший допустимый угол крена. Если в результате расчета амплитуда получится значительно меньше θ_{\max} , то расчет следует повторить, взяв за θ_{\max} максимальную амплитуду из предыдущего расчета.



Фиг. 254

Вычисление присоединенных масс и моментов инерции

Присоединенная масса m'_z прямоугольного в плане тела, погруженного на глубину H , может быть представлена в виде:



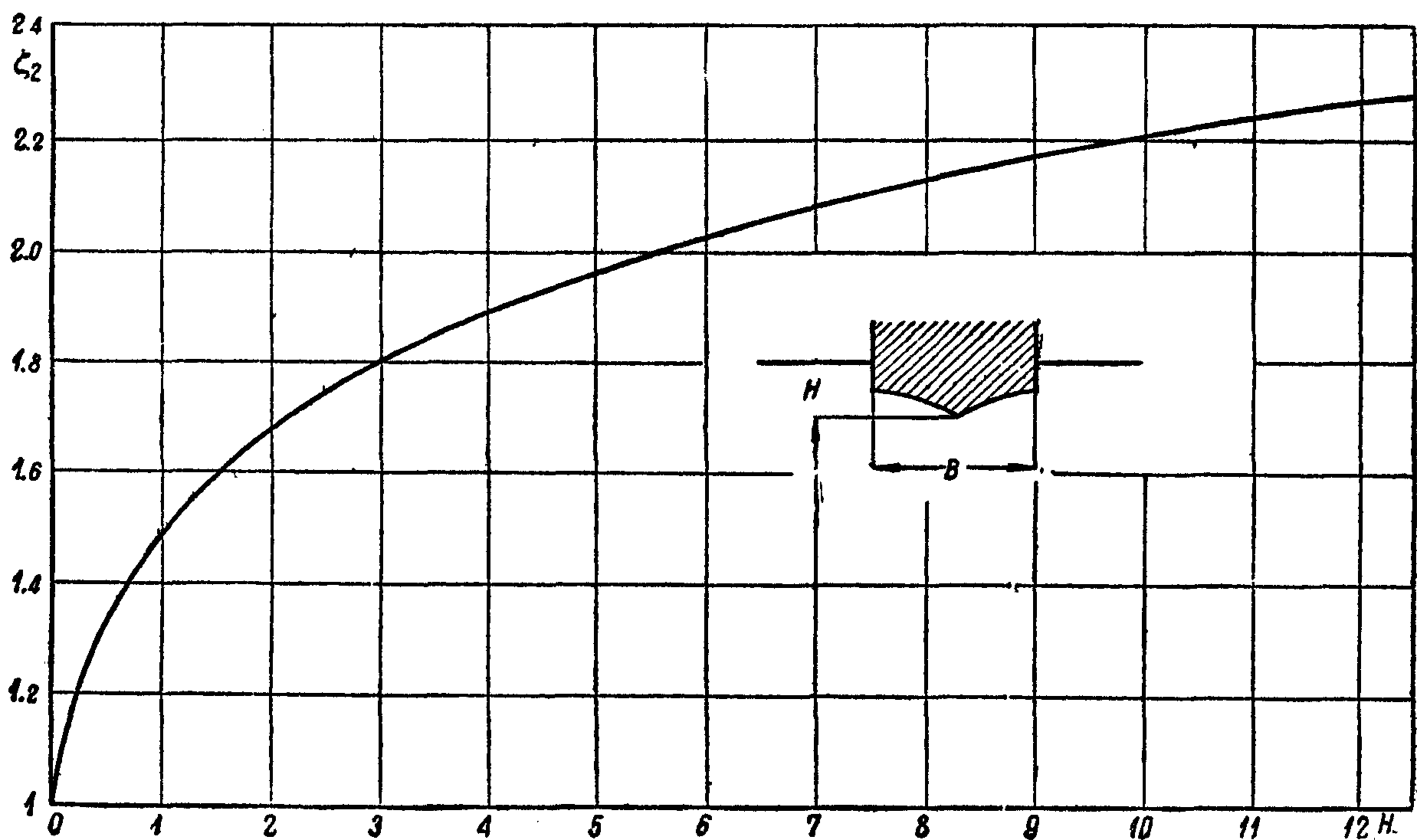
Фиг. 255

$$m'_z = \frac{\pi\rho}{8} \zeta_1 \zeta_2 \zeta_3 B^2 L,$$

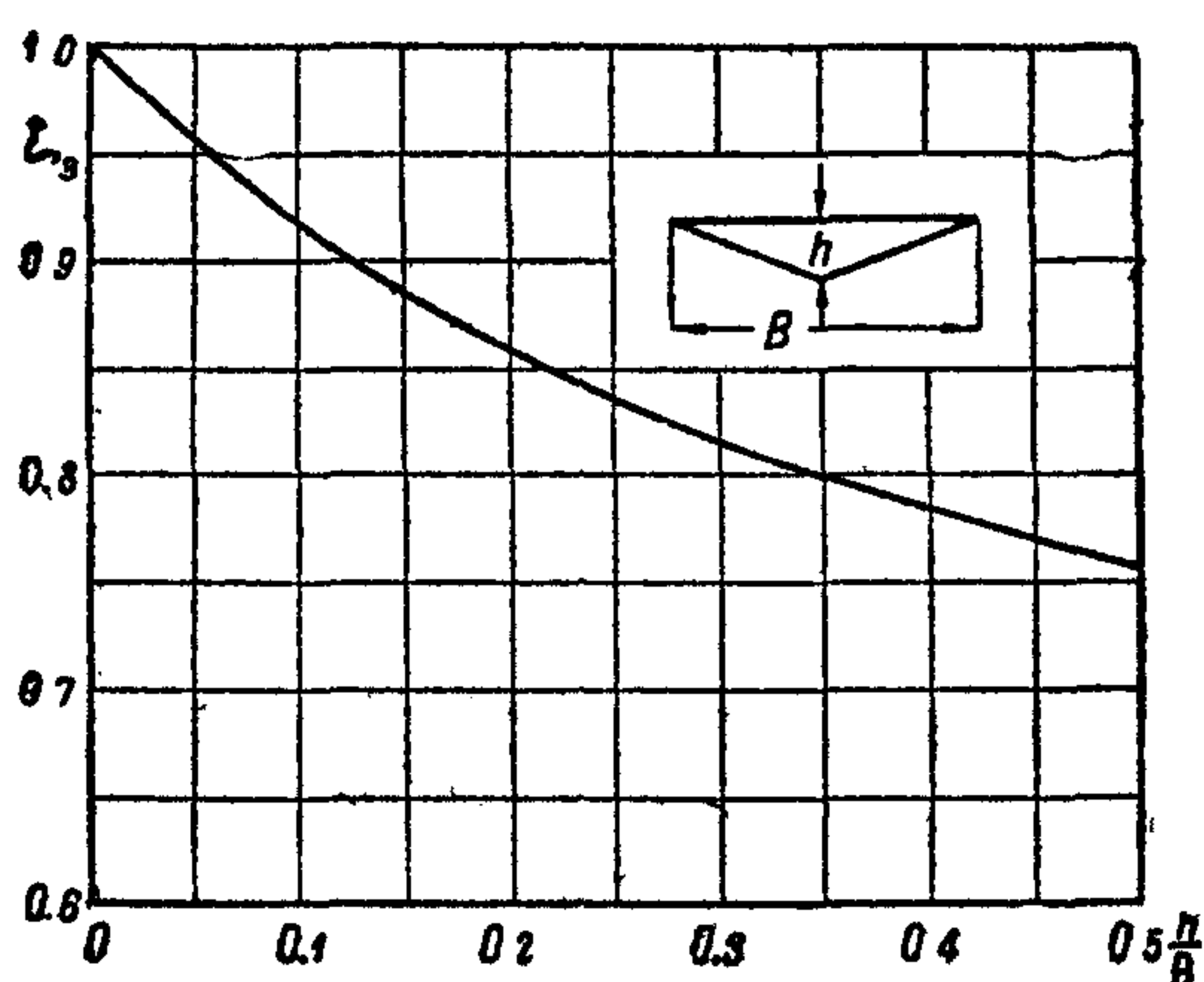
где B — ширина тела, L — длина, ρ — плотность воды, а ζ_1 , ζ_2 , ζ_3 — поправочные коэффициенты на конечную длину, погружение и килеватость, которые следует определять по графикам фиг. 255, 256 и 257

Присоединенная масса в горизонтальном направлении² будет

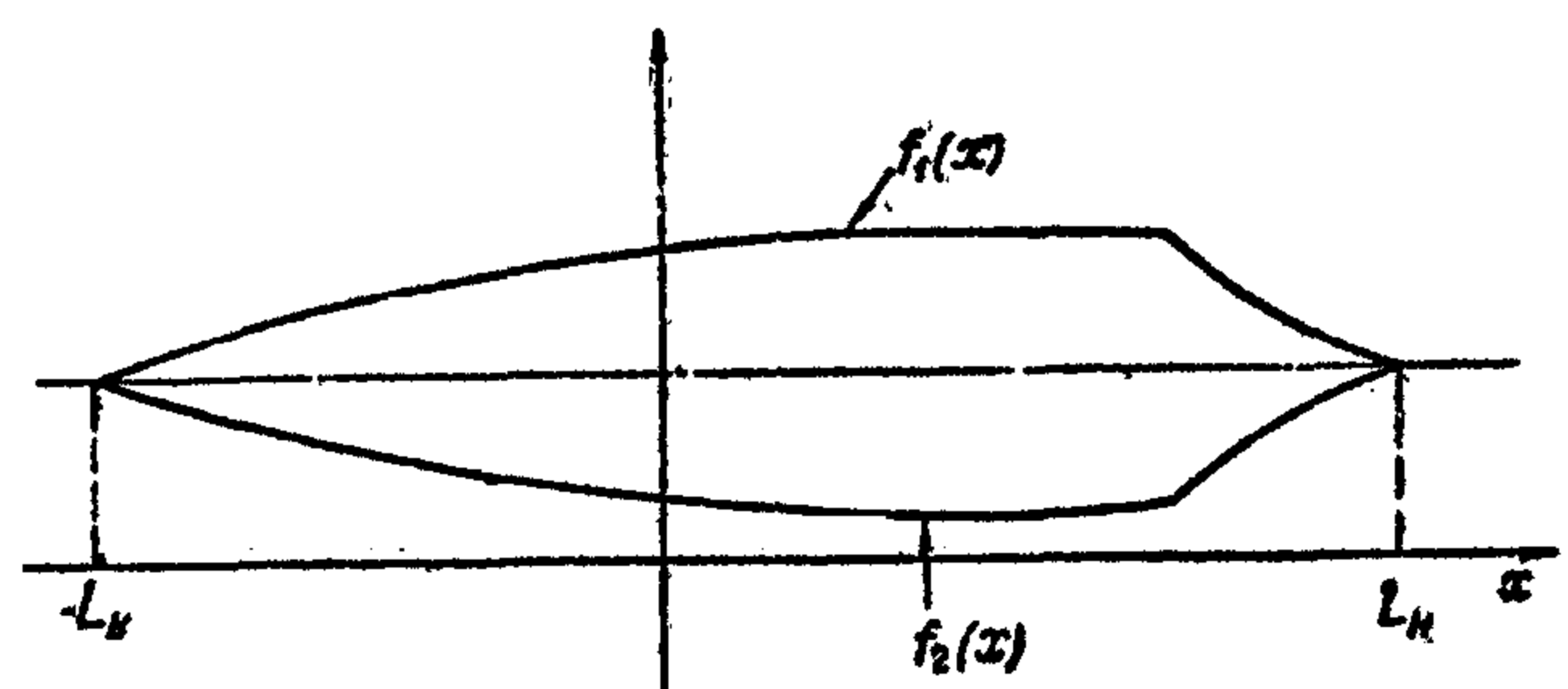
$$m'_v = 0,36\rho\zeta_1\zeta_2 H^2 L$$



Фиг. 256



Фиг. 257



Фиг. 258

Здесь при определении ζ_2 — коэффициента, учитывающего погружение краев — следует иметь в виду, что „погружением“ будет ширина днища, а „шириной“ — погружение

Так как, обычно, лодка или поплавки гидросамолета имеют в плане не прямоугольные, а более сложные очертания, то, обозначая контуры, как показано на фиг. 258, заменяют их эквивалентными прямоугольниками со сторонами, определяемыми из формул

$$B_{\text{экв}} = \frac{\int_{-L_k}^{L_H} [f_1(x) - f_2(x)]^2 dx}{\int_{-L_k}^{L_H} [f_1(x) - f_2(x)] dx},$$

$$L_{\text{экв}} = \frac{\left\{ \int_{-L_k}^{L_H} [f_1(x) - f_2(x)] dx \right\}^2}{\int_{-L_k}^{L_H} [f_1(x) - f_2(x)]^2 dx},$$

Присоединенные моменты инерции воды для поперечной качки двухпоплавкового гидросамолета (фиг 259)

$$J'_x = 2m'_z b^2 + 2m'_y a^2,$$

где b — полуразнос, a — расстояние по вертикали от ц. в. до ц. т. самолета, m'_z и m'_y — присоединенные массы воды каждого поплавка,

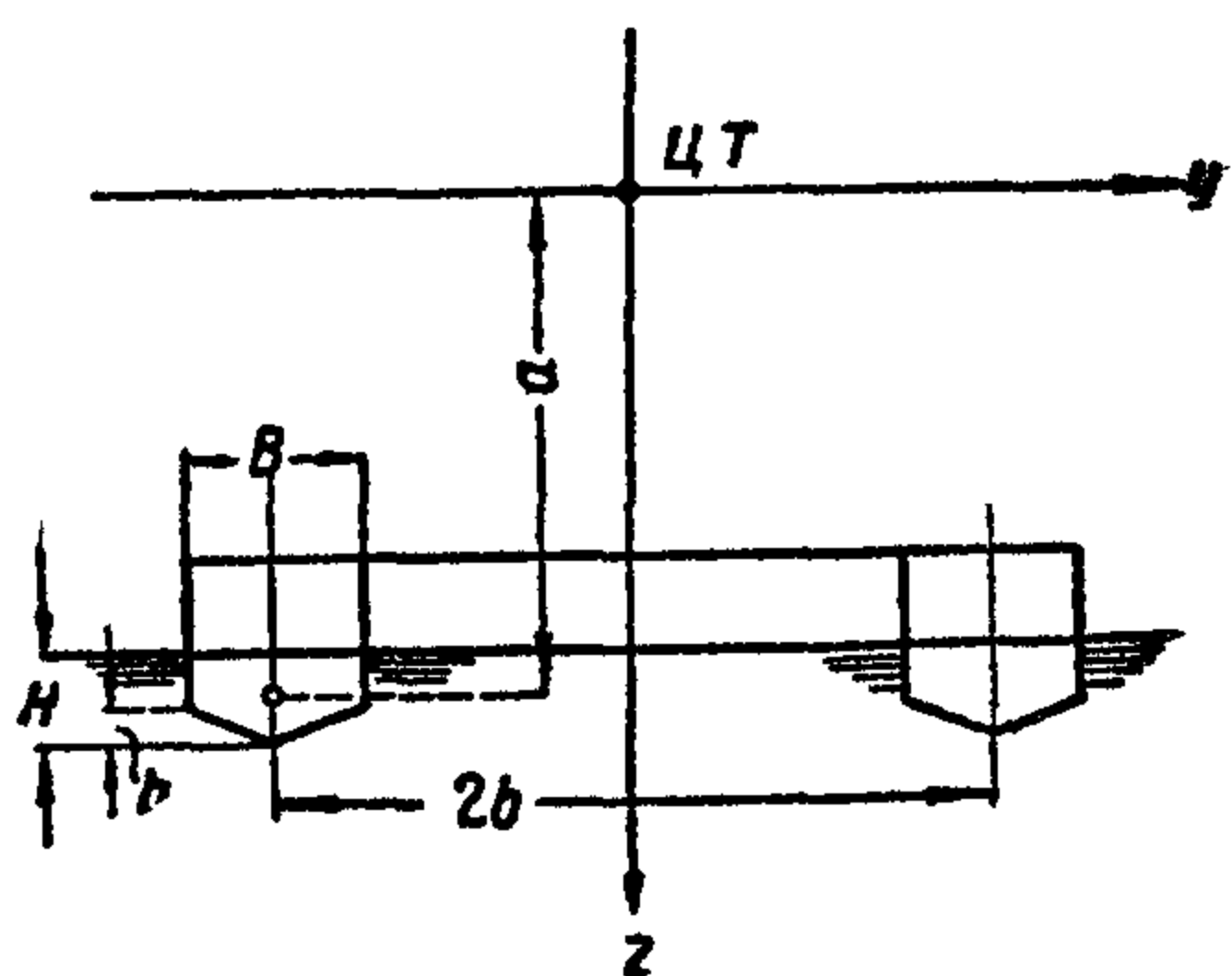
для поперечной качки летающей лодки с несущими поплавками

$$J'_x = 2(m'_z b^2 + m'_y a^2) + J_x + m_y^* a^2,$$

здесь m'_z и m'_y — присоединенные массы воды несущих поплавков, J_x — присоединенный момент инерции лодки относительно оси, образованной пересечением ватерлинии и диаметральной плоскости, а m_y^* — присоединенная масса лодки по направлению оси y ,

для поперечной качки летающей лодки с поддерживающими поплавками

$$J'_x = m'_z b^2 + J_x + m_y^* a^2,$$



Фиг 259

для продольной качки двухпоплавкового гидросамолета.

$$J'_y = 2J_y,$$

где J_y — присоединенный момент инерции воды относительно поперечной оси площади ватерлинии каждого поплавка;

для продольной качки летающей лодки

$$J'_y = J_y$$

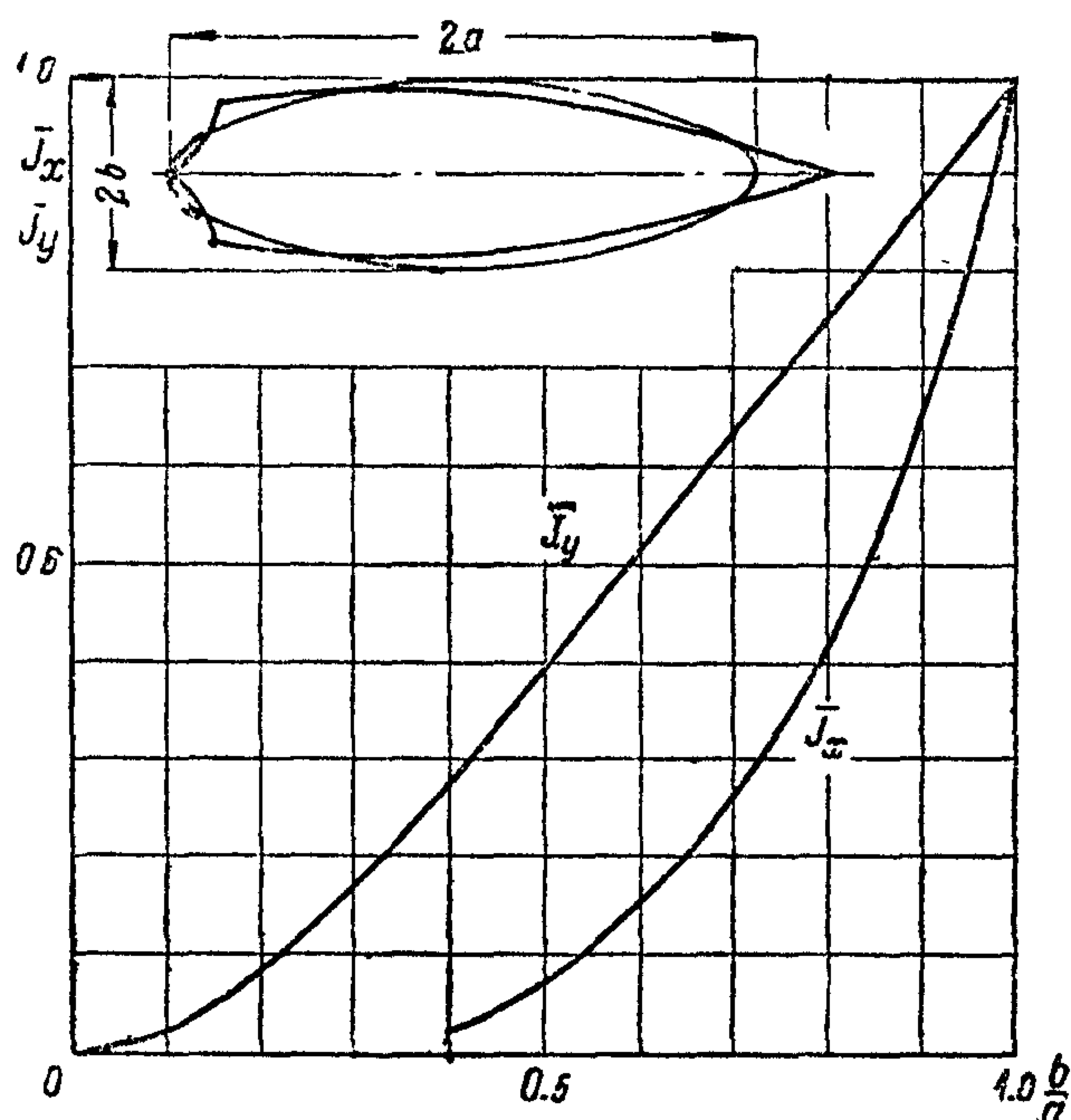
Для определения J_x и J_y пользуются решением задачи о движении эллипсоида¹. Заменяя фигуру, образованную сечением гидросамолета.

плоскостью ватерлинии, эллиптической пластинкой (фиг. 260) и учитывая, что колебания происходят на поверхности воды, получают.

$$j_x = \frac{8}{45} \rho a^5 \bar{J}_x,$$

$$j_y = \frac{8}{45} \rho a^5 \bar{J}_y,$$

где a — длина эквивалентной эллиптической пластинки; коэффициенты \bar{J}_x и \bar{J}_y даны на фиг. 260 в зависимости от отношения полуосей этой пластинки.



Фиг. 260

Присоединенной массы воздуха учитывать не следует.

Присоединенный момент инерции воздуха учитывается только при поперечной качке, исходя из размеров крыла, по формуле для j_x с увеличенным вдвое коэффициентом, т. е. с коэффициентом $\frac{16}{45}$. Для бипланов, кроме того, следует прибавлять момент инерции воздуха, заключенного в коробке крыльев.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Ведров, В. С. — Присоединенные массы жидких пластинок. — „Техника возд. флота“ 1932, № 4, стр. 355—361, 3 илл.
 2. Седов Л. И. — Об ударе твердого тела, плавающего на поверхности несжимаемой жидкости. — „Труды ЦАГИ“ 1935, № 187.
 3. Павленко Г. Е. — Качка судов. — Л., 1935, 312 стр.
- В этой работе приведена подробная библиография по качке судов.

**ИСПЫТАНИЯ ГИДРОСАМОЛЕТА.
СВЕДЕНИЯ О МОРСКИХ ВОЛНАХ**

ИСПЫТАНИЯ ГИДРОСАМОЛЕТА

Гидросамолеты проходят все испытания, которым подвергаются сухопутные самолеты (т. I, стр. 459), с целью выявления и проверки их летно-тактических свойств и соответствия их тактико-техническим требованиям, предъявляемым к гидросамолету данного типа. Программы испытаний расширяются введением в них мореходных испытаний, целью которых является выявление мореходных качеств гидросамолета. Объем мореходных испытаний может в значительной степени меняться в зависимости от типа гидросамолета и предъявленных к нему тактических требований.

В результате всех испытаний получают данные, характеризующие гидросамолет в целом, т. е. его летные и мореходные качества, причем под последними подразумеваются как его ходовые (продольная устойчивость хода и устойчивость пути), так и морские качества (ход на буксире и качка на волне) при состояниях моря, соответствующих нормальным условиям эксплуатации.

Заводские испытания опытных гидросамолетов

Персонал летно-испытательной станции завода, проводящий полетные испытания, получает вместе со всеми материалами, необходимыми для летных испытаний (т. I, стр. 459), еще следующие материалы:

- а) гидростатический расчет,
- б) теоретический чертеж корпуса лодки или поплавка,
- в) гидродинамический расчет,
- г) результаты буксировочных испытаний модели в канале,
- д) расчет непотопляемости.

Подготовка гидросамолета к первому вылету

Береговые осмотры и испытания. Одновременно с производством на аэродроме обмеров, взвешивания, установления минимального веса и центровки для первого вылета производятся дополнительно:

- 1) обмер лодки или поплавков для проверки соответствия их теоретическому чертежу;
- 2) проверка расположения главных или подкрыльных поплавков относительно крыла;
- 3) проверка центровки и выбор, на основе данных буксировочных испытаний модели, наивыгоднейшей центровки для первой рулежки и разбега;
- 4) осмотр всех швов и соединений обшивки лодки или поплавков для определения качества клепки или сварки, а также выявления неровностей и вмятин листов обшивки;
- 5) проверка состояния буксировочного и якорного оборудования, а также наличия и состояния пловучих якорей, их тросов, отпорных крюков и бросательных концов (на поплавковых самолетах буксировочное устройство пригоняется по месту); при наличии кормовой скобы, управляемой с места летчика, производится проверка открывающего ее механизма;
- 6) осмотр и проверка исправности тележек и навесных колес и соответствие их данному гидродрому; для плавающих тележек проверяется их

водонепроницаемость, запас пловучести и исправность затопляющих и откачивающих установок;

7) проверка и подгонка подъемного приспособления.

Испытания и осмотр на якоре. После испытания на земле всего оборудования и моторов гидросамолет в штилевую погоду спускается на воду и устанавливается на якорь или буй.

При спуске и последующей съемке гидросамолета с тележки или колес производится наблюдение за работой отдельных механизмов всего спускового устройства в целом для выявления эксплуатационных качеств и удобства всего вспомогательного оборудования.

На гидросамолете во время его стоянки на воде производят:

1) осмотр всех подводных швов обшивки лодок или поплавков для проверки их водонепроницаемости (рекомендуется, при этом, заклепочные швы обстукивать легким ручником; отдельные заклепки или швы, пропускающие воду, отмечаются мелом);

2) наблюдение за количеством воды, собирающейся на днище отсеков за время шестичасовой стоянки на воде;

3) замер положения грузовой ватерлинии по промеренным носовому и кормовому перпендикулярам и проверку положения ее по теоретическому чертежу;

4) определение тяги винта на месте.

Для определения тяги винта на месте подведенный к спуску гидросамолет расчаливается кормой к спуску и в расчалки включаются динамометры, которыми и замеряется тяга. Расчалки должны быть по возможности короче, для чего нужно крепить их как можно ближе к воде, а самолет подводить ближе к берегу. При этом испытании, кроме кормовых расчалок, должны быть поставлены еще и бортовые расчалки для удерживания гидросамолета от боковых перемещений.

По окончании всех этих работ гидросамолет поднимается на берег для устранения всех замеченных дефектов. При подъеме оценивается удобство навески колес или постановки гидросамолета на тележку, а также отмечается время, потребное для этих операций.

Рулежки и буксировка. После устранения всех дефектов гидросамолет в штилевую погоду вновь спускается на воду и устанавливается на буй, расположенный в наиболее свободной от всяких препятствий части гидродрома. После запуска моторов гидросамолет, в сопровождении катера, выходит на рейд, где прогревает моторы, описывая циркуляции.

Экипаж гидросамолета проверяет, закрыты ли все водонепроницаемые двери и люки, и смотрит, не набирается ли где-либо вода. Затем производятся следующие испытания:

1. С целью проверки устойчивости пути и продольной устойчивости на ходу летчик производит на малых скоростях, постепенно повышая их и доводя до $0,3 V_0$, ряд рулежек на прямых курсах, строго против ветра. При этом наблюдают за рысканием гидросамолета и возможностью удерживания его на курсе, а также замечают (или регистрируют) продольные колебания и их характер. Кроме того, тщательно наблюдают за величиной и характером забрызгивания и местом возникновения брызговых струй.

В случае появления незатухающих периодических продольных колебаний, на данном диапазоне скоростей должен быть тщательно выявлен их период и, по возможности, амплитуды, и получено разрешение на продолжение испытаний.

2. Для ознакомления с маневренными свойствами гидросамолета на воде описывается ряд циркуляций и подбираются обороты моторов, на которых они могут работать длительное время без перегрева.

3. После осмотра на якоре или буйе всех частей гидросамолета и допущения его к продолжению испытаний летчик проводит вновь рулежки прямых курсов на повышенных скоростях до скорости выхода на редан,

наблюдая за появлением и характером продольных колебаний и характером рыскания. Ход на редане должен быть спокойный при полном отсутствии рыскания и продольных раскачиваний. Во время этих рулежек проверяется заданный угол установки стабилизатора и эффективность рулей. После постановки на якорь производится вновь полный осмотр гидросамолета.

4 Рулежки и ход на редане вновь повторяются при ветре и небольшой волне (30—40% от максимальной), чтобы проверить влияние, оказываемое волной на ход гидросамолета во время разбега. Величина максимальной волны определяется в зависимости от заданных техническими требованиями нормальных эксплуатационных условий.

5 Производится буксировка гидросамолета при помощи катера, при заданной техническими требованиями скорости ветра и высоте волны для проверки запасов продольной и поперечной остойчивости во время хода на буксире. Буксировка производится по кругу при береговом ветре, описывая циркуляции сперва под берегом, а затем постепенно удаляясь от него, до тех пор, пока последняя циркуляция не будет произведена в заданных условиях ветра и волны. Во время этих испытаний ведется наблюдение за характером продольной и поперечной качки при различных углах обдувки, за величинами размахов ее и периодами. Также ведется наблюдение за забрызгиванием. После ходовых испытаний производится тщательный осмотр всего гидросамолета и проверка регулировки с нивелиром, чтобы выявить наличие возможных остаточных деформаций. Эти испытания, в случае отсутствия подходящей погоды, могут быть проведены и после первого взлета.

Во время всех ходовых испытаний записываются на каждом ходовом режиме следующие величины:

- 1) число оборотов мотора,
- 2) скорость,
- 3) дифферент и крен и периоды их изменения,
- 4) характер забрызгивания и места отделения струй.

Первый вылет

Первый вылет, как правило, производится со спокойной водной поверхности, но не с зеркальной, когда оценка высоты выравнивания перед посадкой затруднена.

Перед спуском на воду производится проверка нагрузки, соответствующей минимальному полетному весу, и положения центра тяжести.

В полет берется экипаж в минимальном количестве, функции которого строго распределяются ведущим летчиком перед полетом. Экипаж занимает места по расписанию. Все люки и водонепроницаемые двери в отсеках задраиваются. К месту предположенного отрыва гидросамолета от воды высылаются катер, второй катер выходит и держится вблизи пути разбега гидросамолета. После прогрева моторов летчик выводит гидросамолет на старт и, получив разрешение с сигнальной вышки, начинает разбег.

Во время разбега хронометрируется момент выхода на редан и момент отрыва от воды, считая от момента включения летчиком полного газа.

После отрыва от воды, если не обнаруживается каких-либо ненормальностей в управлении, летчик набирает высоту до 1000—1500 м, на которой переходит в горизонтальный полет.

Первая посадка производится на минимальной скорости вблизи дежурного катера. При посадке хронометрируется время пробега. После посадки гидросамолет становится самостоятельно на буй, где производится его полный осмотр. Кроме тех вопросов, которые задаются летчику при испытаниях сухопутных самолетов (т. I, стр. 461—462), он должен дать ответ еще на следующие вопросы:

- 1) Какова была техника управления гидросамолетом во время разбега?

2. Какие ненормальности им замечены во время разбега?
 3. Были ли продольные колебания во время разбега, когда и какого характера?
 4. Не отмечается ли тенденция к рысканию или зарыванию подкрыльных поплавков?
 5. Как велики отклонения рулей при управлении во время разбега?
 6. Какой был угол атаки стабилизатора при разбеге и при посадке?
 7. Какие места забрызгиваются при разбеге и в какой степени?
 8. Каково положение гидросамолета во время пробега и не заливаются ли сильно водой хвостовое оперение?
- На этом заканчиваются предварительные испытания и приступают к доводкам

Доводка гидросамолета

С целью доводки производятся 5—15 полетов после первого вылета (т. I, стр. 462).

Работы в части доводки плавательных приспособлений заключаются в устранении или уменьшении тех дефектов, которые были выявлены во время мореходных испытаний. К числу таких дефектов можно отнести забрызгивание винта и кабины, неустойчивость хода на некотором диапазоне скоростей во время разбега, недостаточность поперечной остойчивости и наличие рыскания. Забрызгивание винта и кабины можно изменить, применяя брызгоотражатели, устанавливаемые на скулах и днище, в носовой части корпуса.

Появление продольных затухающих колебаний на небольшом диапазоне малых скоростей не является серьезным дефектом, препятствующим эксплуатации, но появление таких колебаний на скоростях выхода на редан и выше должно быть уничтожено или перенесено на диапазон малых скоростей. Мерами, могущими изменить характер колебаний и их амплитуды, являются перераспределение съемного оборудования гидросамолетов, изменение центровки и некоторое изменение формы днища лодки или поплавков, что достигается применением наделок, укрепляемых на обшивку корпуса для образования новой формы. Неизбежное перетяжеление гидросамолета после наделок производится за счет временного уменьшения полезной нагрузки во время испытаний.

Недостаточность поперечной остойчивости (лодочные гидросамолеты) не может быть устранена иначе как переносом или увеличением водоизмещения подкрыльных поплавков, причем выбрать нужно то решение, которое, обеспечивая гидросамолету необходимую остойчивость, не снижает при этом его летных качеств. Предположенное изменение схемы следует перед осуществлением проверять расчетом или экспериментально на модели в бассейне.

Для уничтожения рыскливости, если схема и отдельные ее части остаются неизменными, а рули направления имеют хорошую обдувку и их нельзя увеличивать из соображений аэродинамики, можно применить установку водяного руля или развивать соответственным образом кильки в носовой части днища.

Полетные испытания

После окончательной доводки гидросамолета приступают к испытаниям для определения его летных и мореходных характеристик. Программа полетных испытаний для гидросамолета расширяется по сравнению с программой для сухопутных самолетов (т. I, стр. 488) мореходными испытаниями, количество которых устанавливается в зависимости от типа гидросамолета. Ниже приведена примерная программа мореходных испытаний.

№	Характер испытаний	Число испытаний	Время испытаний	Примечание
1	Взлеты и посадка с нормальной нагрузкой на волну, постепенно увеличивающуюся до заданной величины, при ветре заданной силы	6 посадок	1 час	Производится на рейде при ветре заданной силы. Место посадки указывается катером, проверяющим высоту волны.
2	Повторение взлетов и посадок с максимальной нагрузкой при тех же условиях погоды	6 посадок	1 час	—
3	Замер длины разбега и пробега с нормальной и максимальной нагрузкой в штиль и на спокойной воде	2 посадки	20 мин.	—
4	То же на заданную волну при заданном ветре	2 посадки	30 мин.	—
5	Испытание на свободный дрейф гидросамолета при заданном ветре и волне (с нормальной нагрузкой)	—	20 мин.	После посадки и выключения моторов. Применение пловучих якорей обязательно. После дрейфа—буксировка до аэродрома.
6	Буксировка по кругу в заданных условиях ветра и волны (с нормальной нагрузкой)	6 кругов	—	По два круга на волнениях, меньших заданного, и последние два на заданной волне. Применяется якорное приспособление данного гидросамолета
7	Замер циркуляций в штиль на малых оборотах и оборотах максимальных, допустимых на воде с нормальной и максимальной нагрузками	6	—	Только для гидросамолетов одномоторных и двухмоторных — тандем.
8	То же на гидродроме при заданном ветре и волне, допустимой для эксплуатации, с нормальной и максимальной нагрузками	6	—	То же.

Методика производства морских испытаний

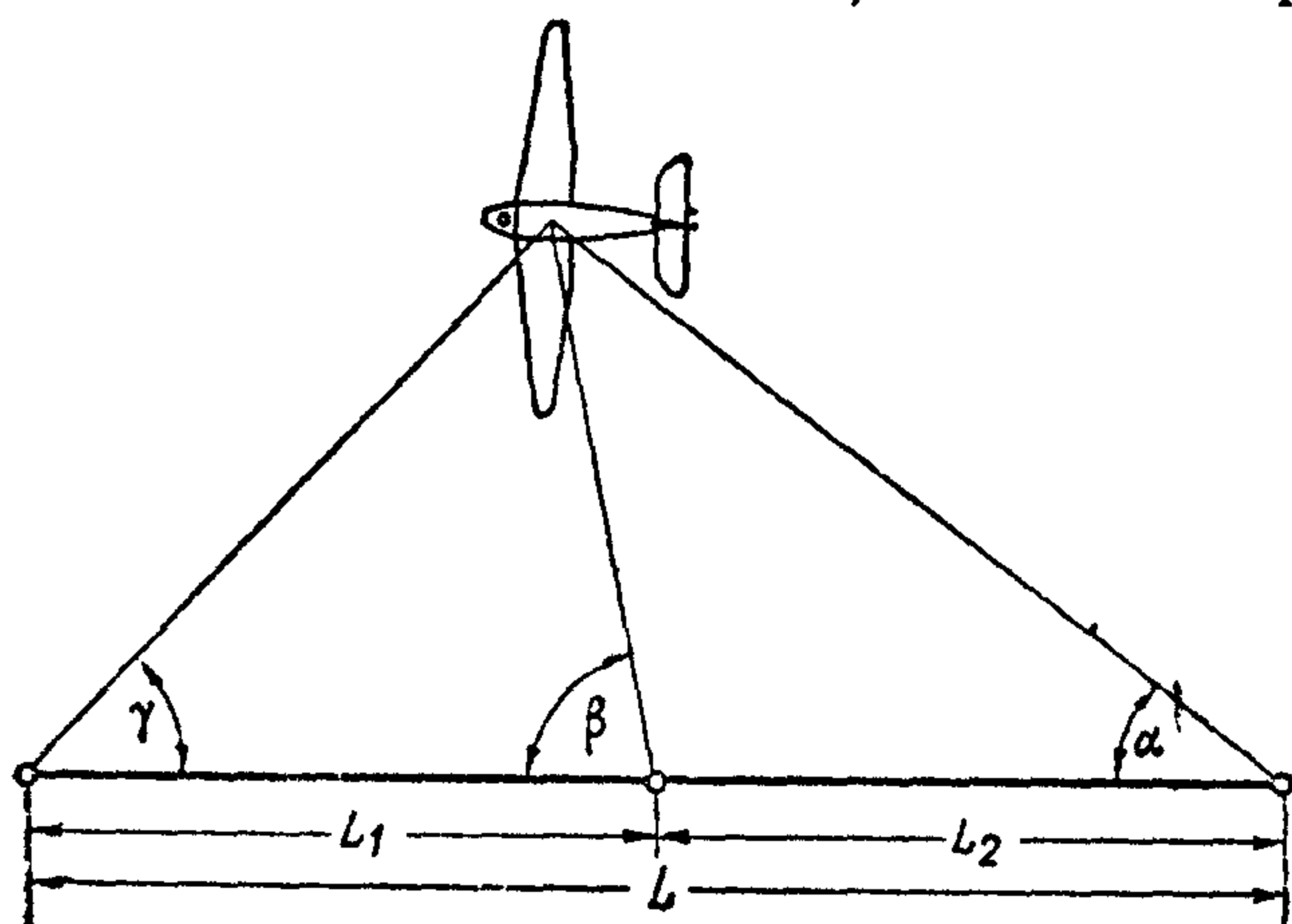
Определение характеристик взлета и посадки

Из двух, применяемых для определения взлетно-посадочных характеристик сухопутного самолета методов: непосредственного измерения хронометрами и фотографического метода (т. I, стр. 485—487), первый метод применить для испытания гидросамолета невозможно, а второй метод применим для этих испытаний, но только в том случае, если удастся осуществить взлет и посадку вдоль оптической оси фотокамеры, расположенной на неподвижной платформе, т. е. на берегу.

Разработаны следующие методы получения взлетных и посадочных характеристик гидросамолетов:

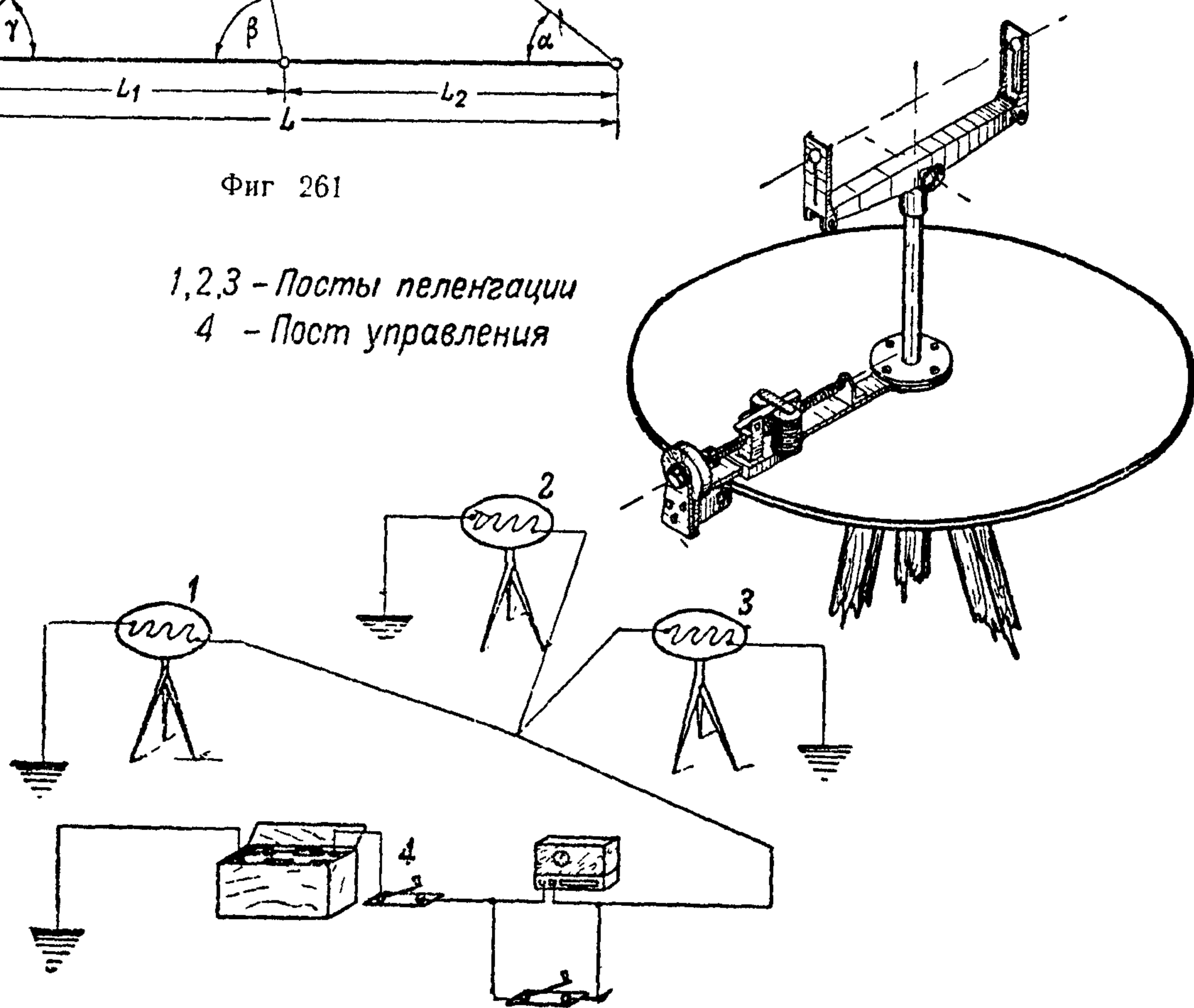
- 1) метод синхронного пеленгования с берега, и
- 2) метод киносъемки береговых створов.

Метод синхронного пеленгования. На берегу выбирается база, длиной 100—200 м (фиг. 261), на концах которой устанавливаются два пеленгатора-отметчика². Расположение базы должно быть таково, чтобы с пеленгаторных точек был все время виден взлетающий или садящийся гидросамолет. Для контроля и уточнения записи траектории выбирается еще одна точка, в которой устанавливается третий пеленгатор-отметчик (не обязательно). Всего во время испытаний занято 3—4 наблюдателя: 2 (или 3) у пеленгаторов и 1 для наблюдения за началом разбега и моментом отрыва (или моментом касания и моментом остановки при пробеге). Места установки пеленгаторов обозначаются



Фиг. 261

1, 2, 3 - Посты пеленгации
4 - Пост управления



Фиг. 262

стальными трубочками, вбитыми в грунт и забетонированными и точно наносятся на карту.

На фиг. 262 дана схема пеленгатора-отметчика и схема электроцепи для трех пеленгаторов-отметчиков и поста наблюдения.

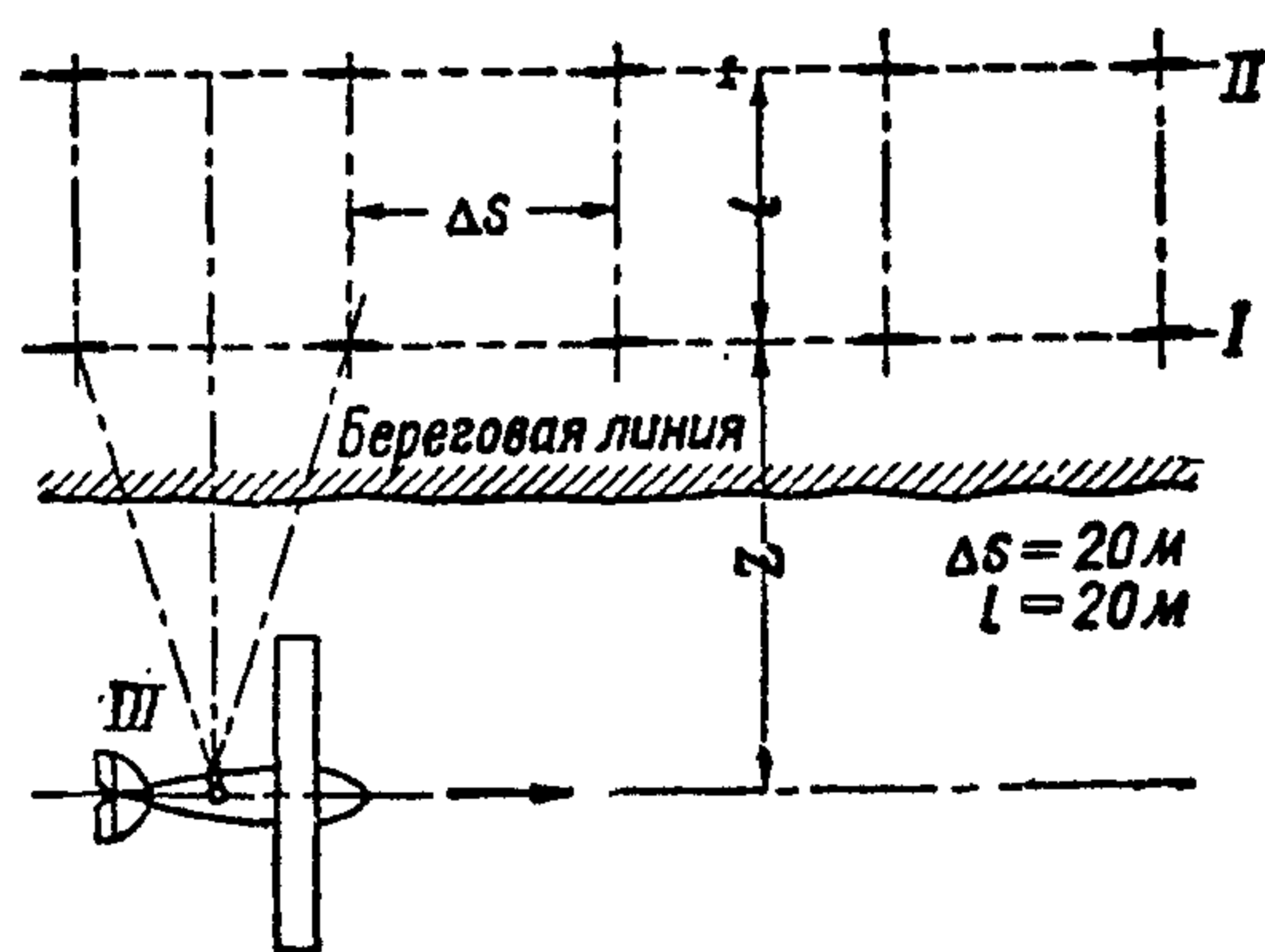
Работа с пеленгаторами во время испытания состоит в следующем: наблюдатели устанавливают свои пеленгаторы на отмеченные точки базы, соединяют штепселя от проводов электроцепи к приборам и проверяют их работу. Затем отмечают на диске для ориентировки записей, пользуясь пеленгатором, направления на другие точки базы или на два постоянных предмета, видимых со всех точек базы и нанесенных на карту. Четвертый наблюдатель (4 на фиг. 262), наблюдая в бинокль за движением гидросамолета, включает пеленгаторы, когда гидросамолет подходит к старту.

Наблюдатели у пеленгаторов непрерывно пеленгуют гидросамолет, поворачивая соответственно линейку. В момент включения полного газа на гидросамолете наблюдатель нажимает на короткий момент ключ, замыкающий цепь помимо контактного механизма, и дает на диске отметку этого момента. Дальше отметки будут происходить через установленные промежутки времени до конца записи, которая также сопровождается отметкой при помощи ключа того же наблюдателя в момент отрыва. После этого выключается ток в цепи, и наблюдатели подготавливаются к производству следующей записи. Расшифровка состоит в ориентировке записей на карте в соответствующих точках базы, в накалывании отметок и в проведении двух (или трех) пересекающихся лучей для получения положения гидросамолета в соответствующий момент времени. Работа с пеленгаторами показала, что после небольшой практики получившиеся первоначально треугольники, в месте пересечения лучей, становятся очень малыми или сливаются в одну точку. Построенная траектория взлета (или посадки) позволяет, благодаря наличию точек на ней, нанесенных через известное число секунд, получить среднюю скорость между отметками и кривую изменения скорости по времени за время разбега (или пробега).

Продолжая наблюдения и после отрыва, можно получить и скорость полета непосредственно после взлета. Кривая скоростей разбега по времени дает возможность определить взлетную или посадочную скорость.

Модификация метода. При наличии на гидросамолете компаса с уничтоженной девиацией и буйка на гидродроме, определяющего начало разбега, запись траектории разбега может быть произведена двумя наблюдателями с одним только пеленгатором-отметчиком. Действительно, зная положение буйка на карте и истинный курс гидросамолета во время разбега, можно нанести этот курс, а затем нанести лучи, отмеченные пеленгатором, которые отсекут на этом курсе длину разбега и позволят определить скорость.

Метод киносъемки береговых створов². На берегу устанавливаются в определенном направлении створы на расстоянии 20 м друг от друга (фиг. 263). Каждый створ состоит из двух щитов, один из которых ставится на передней линии створов, а другой на линии, отстоящей на 20 м от первой. Каждая пара щитов, находясь в створе, отсекает направление, перпендикулярное к основному направлению передней линии створов. После установки щитов (фанера, окрашенная белой краской) на передних щитах отбивается черной чертой горизонталь по нивелиру.



Фиг. 63

На гидросамолете, в поле зрения кинемо, установленной перпендикулярно к диаметральной его плоскости, располагается приборная доска, верхний срез которой устанавливается параллельно строительной горизонтали гидросамолета.

Выше приборной доски в поле зрения кинемо попадают створы, отпечатывающиеся на кадрах пленки во время разбега одновременно с показаниями приборов на приборной доске. На приборной доске устанавливаются микро-секундомер или электро-часы с секундомером, тахометры и указатель скорости относительно воздуха.

С таким оборудованием гидросамолет совершает разбег (или посадку) вдоль створов в определенном расстоянии от берега, причем наблюдатель производит непрерывно съемку приборной доски и створов на берегу со скоростью 16—20 кадров в секунду.

При расшифровке средняя скорость прохождения гидросамолетом расстояния между соседними створами получается путем деления величины этого

расстояния (20 м) на промежуток времени, потребовавшийся на его прохождение. Определяя на кадрах угол между горизонталью, отбитой на щитах створов, и срезом приборной доски на гидросамолете, получают углы дифферента во время разбега. Дифференцируя кривую пути по времени, получают кривую скорости по времени, т. е. все элементы, определяющие взлетную или посадочную характеристики. При заданном расстоянии между створами $\Delta s = 20$ м (точность $\pm 0,01$ м), считая, что расстояние от переднего щита створа до разбегающегося гидросамолета в 10 раз больше расстояния между передней и задней линиями створов, получают величину абсолютной ошибки равной 0,2 м, а относительной, при определении пути гидросамолета, равной 1%. Опыт расшифровки кинофильм рулежки показывает, что возможная ошибка в определении промежутков времени не превышает 0,02 с.

Испытания проводятся в штиль, чтобы иметь возможность совершать разбеги или посадки вдоль линии створов. Незначительный ветер замеряется на берегу при помощи анемометра и учитывается при обработке записей.

Поправка длины разбега на отклонение атмосферных условий от стандартных вводится так же как и при испытаниях сухопутных самолетов (т. I, стр. 488).

Применение метода киносъемки береговых створов для определения гидродинамической характеристики гидросамолета. Силу гидродинамического сопротивления при неустановившемся движении можно получить непосредственно при помощи динамометрированного шасси или косвенно из условия равенства нулю суммы проекций на горизонталь всех сил, действующих на гидросамолет.

Основное уравнение напишется так:

$$W' + X \pm a(m + m_1) - P = 0,$$

где W' — гидродинамическое сопротивление гидросамолета при установившемся движении,

X — аэродинамическое сопротивление гидросамолета,

a — ускорение движения (со знаком $+$ при разбеге),

m — масса гидросамолета,

m_1 — присоединенная масса воды,

P — сила тяги винта.

Вместо определения W' и m_1 , находят величину гидродинамического сопротивления при неустановившемся движении:

$$W = W' \pm am_1 = P \mp am - X.$$

Величины P и X определяются для заснятых на фильм во время испытаний углов дифферента φ и чисел оборотов мотора в минуту n по полученным из полетных испытаний кривым коэффициента лобового сопротивления c_x по углам атаки и коэффициента тяги винта в функции относительной поступи винта λ . Величину ускорения гидросамолета a получают дифференцированием кривой скорости гидросамолета по времени.

Для повышения точности съемки разбегов рекомендуется проводить разбеги, начиная со скорости $V = 0$ и числа оборотов $n = n_{\text{макс}}$, а также проводить рулежки на постоянных скоростях (при $n = \text{const.}$) и посадки с остановленными моторами. Для осуществления режима: $V = 0$; $n = n_{\text{макс}}$ гидросамолет удерживается на месте у первого створа при помощи троса, отдаваемого в момент дачи мотору полного газа. Рулежки с постоянной скоростью исключают из основного уравнения влияние ошибок в определении ускорения, а посадки с остановленным винтом исключают ошибки в определении тяги. При тщательной установке створов, повышенной скорости съемки и малой величине отношения расстояния от гидросамолета до первой линии створов к расстоянию между створами точность замера гидродинамической характеристики может быть доведена до 8 — 10%. Дальнейшее повышение точности может быть произведено за счет более точного определения тяги винта при помощи динамометрической втулки.

Определение колебаний гидросамолета при плавании и на ходу

Простейшим методом определения колебаний является киносъемка показаний жирокопического указателя кренов и дифферентов, производимая одновременно со съемкой секундомера. Однако, эти приборы обладают небольшой точностью (до $\pm 2^\circ$) и имеют очень малые шкалы, расшифровка изображений которых очень трудна и не может быть произведена с достаточной точностью. Поэтому применяют следующие методы определения колебаний:

- 1) метод киносъемки горизонта²,
- 2) метод непрерывной фотосъемки горизонта¹.

Метод киносъемки горизонта. При помощи обычной кинамо, установленной на гидросамолете вблизи центра тяжести, производят ряд съемок горизонта. Если кинамо устанавливается своей оптической осью вдоль оси, вокруг которой происходят колебания гидросамолета, то на фильме будет получаться линия горизонта, наклоненная на угол, равный углу наклона гидросамолета. Углы отсчитываются от нулевого положения, например, от верхнего среза кадра, который располагают, при установке кинамо, параллельно строительной горизонтали. В поле зрения кинамо выставляется секундомер, отсчет которого фотографируется на кадрах, вместе с линией горизонта. Расшифровка сводится к определению углов между линией горизонта и условной линией. Точность расшифровки зависит от качества снимков и качества оптической и механической частей компаратора и может быть доведена до $0^\circ,3$.

Располагая оптическую ось кинамо перпендикулярно к оси колебаний, получают на кадрах фильма вертикальные колебания линии горизонта. В этом случае расшифровка упрощается, так как вместо угловых величин приходится измерять линейные величины. Точность расшифровки, в зависимости от качества фильма и компаратора, можно довести до $0^\circ,1$. При таком методе съемки производится предварительная тарировка на берегу и составляется таблица перевода отсчетов в градусы. Установку кинамо на гидросамолет производят так, чтобы линия горизонта для условного нулевого положения проходила на половине высоты кадра.

Преимуществом этого метода является возможность съемки одной кинамо одновременно как продольных, так и поперечных колебаний гидросамолета, т. е. сложных его колебаний. Действительно, кинамо, расположенная вдоль диаметральной плоскости гидросамолета, дает дифференты по вертикальному перемещению линии горизонта, наклоны которой, получившиеся на кадре, будут изображать крены гидросамолета в те же моменты времени. Недостатком метода является трудоемкость расшифровки, вследствие необходимости повторять установку компаратора для каждого кадра.

Метод непрерывной фотосъемки горизонта¹. Этот метод состоит в том, что на непрерывно движущуюся фото пленку, прикрытую щитком с вертикальной щелью шириной в 1 мм, происходит непрерывная съемка линии горизонта. Вследствие присутствия перед пленкой щитка в каждый момент освещается только узкий вертикальный столбик. Изображения столбиков следуют непрерывно и дают на пленке непосредственно кривую амплитуд колебаний, отсчитываемых от условного нуля.

Оптическая ось фотоаппарата устанавливается всегда только перпендикулярно к оси колебаний. Сложных колебаний одним аппаратом определить нельзя, и для этой цели применяется специальный фотоаппарат с механической кассетой, объективы которого расположены под 90° друг к другу и дают изображения на одну и ту же пленку: один в верхней части щели, а другой в нижней. Отметки времени производятся фотографированием колеблющегося якорька электромагнита, прикрывающего нижний край щели.

Обычная кинамо может быть легко приспособлена для получения кривой колебаний. Для этого нужно только удалить грейфер и прикрыть рамку для кадра щитком со щелью. Отметку времени можно производить

при помощи электромагнита, управляемого контактным часовым механизмом, якорь которого появляется в поле зрения объектива кинемо, когда ток в цепи электромагнита разомкнут, и исчезает в момент замыкания тока. Затвор кинемо остается открытым во все время съемки.

Этими методами определяются характеристики всех колебаний гидросамолета, как при плавании, так и на ходу, т. е. их амплитуды, периоды и частоты. Для анализа причин, вызывающих колебания на ходу, одновременно с записью колебаний записываются: число оборотов мотора, скорость и положение рулей и заранее определяются полетный вес и центровка гидросамолета.

Определение циркуляций гидросамолета на воде

Метод определения циркуляции по буйкам применяется для приближенной оценки величины радиуса циркуляции. На гидродроме ставятся два малых деревянных буйка, не представляющих собой опасности для гидросамолета в случае столкновения, и замеряется расстояние между ними. Гидросамолет совершает циркуляции между буйками. Наблюдатель с катера или с берега оценивает диаметр циркуляции в частях расстояния между буйками. Этот метод применим только для замеров в штиль.

Метод синхронного пленгования (стр. 258). Этот метод дает возможность построить полную траекторию гидросамолета на воде, вне зависимости от ее формы и размеров. Кроме установившейся циркуляции могут быть записаны и траектории входа и выхода из циркуляции и установлены наиболее выгодные режимы оборотов мотора и техника управления для получения минимального радиуса циркуляции в заданных условиях волны и ветра.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Schwarz T. — Ueber Rudermomentmessungen und Drehkreisbestimmungen von Schiffen. — „Jahrbuch d. Schiffbautechn. Gesellschaft“ 1910, v. XI, p. 694—728, 22 ill.
2. Подсевалов Н. Н. — Снятие гидродинамических характеристик гидросамолета МУ-1. — „Техника возд. флота“ 1934, № 6, стр. 28—43, 14 илл.

СВЕДЕНИЯ О МОРСКИХ ВОЛНАХ

Общие сведения о морской воде

Данные о среднем содержании солей в морской и в речной воде приведены в таблице LIII.

Таблица LIII

	Морская вода	Речная вода
Хлориды ‰	88,7	5,2
Сульфаты ‰	10,8	9,9
Карбонаты ‰	0,3	60,1
Прочие вещества ‰	0,2	24,8
	100,0	100,0

В морской воде может встречаться значительное количество иода в водорослях, коррозионное воздействие которого, особенно на легкие сплавы, весьма велико.

Соленость. Соленостью морской воды называют весовое количество солей, растворенных в ней на 1000 частей воды.

Средняя соленость океана $s = 35,0\text{‰}$.

Распределение солености

Атлантический океан	— от 35,8‰ в северной части до 35,0‰ в южной,	
Тихий океан	— от 34,6‰ " " " " 35,1‰ " "	
Азовское море	— в середине 10,5—12‰, у берегов 9,3‰	
Аральское море	— от 10‰ до 12,9‰	
Балтийское море	— в Бельтах от 10‰ до 22‰, в зависимости от направления ветра:	
	в средней части, к востоку от о-ва Борнгольм	7,5‰
	у о-ва Готлянд	6—6,7‰
	в Ботническом заливе	5—3‰
	в Финском заливе: в средней части	4,5‰
	у Красной горки	2‰
Белое море	в горле моря 30,5—26,2‰ (убывает к югу),	
	в Двинском заливе	7,8‰
	у Кандалакши	8,0‰
Берингов пролив		от 32,0‰ до 30,0‰
Каспийское море	в средней части	от 12,25 до 15‰
	у Кавказского берега (узкая полоса)	от 11‰ до 12‰
	в устье Волги	1‰
	в заливе Карабугаз	163,98‰
Северное море		от 34,5 до 35,2‰
Черное море	в северо-западной части	17,0‰
	в средней части моря	18,5‰
	в районе Босфора	21,0—20,0‰

Классификация волн

Морские волны делятся на следующие основные типы:

Поверхностные волны или колебательные. Сюда относится мертвая зыбь и ветровые волны.

Приливные волны или поступательные. Сюда относятся волны прилива и сейши.

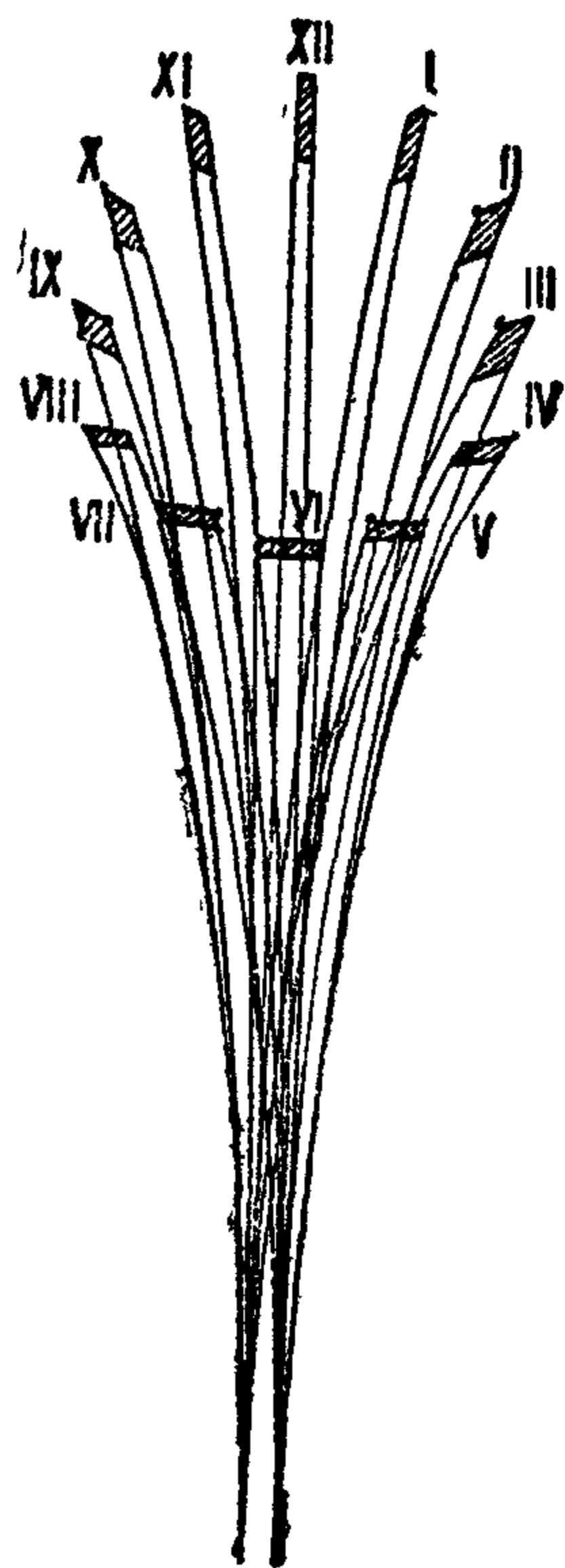
Волны приливного типа. Сюда относится волна Скотт-Русселя, прибойная волна и мелководная волна (Лапласа).

Величинами, характеризующими вид и форму волны, являются: высота волны h — вертикальное расстояние между гребнем и впадиной волны, длина волны λ — горизонтальное расстояние между двумя соседними гребнями, период волн T — время между прохождением двух соседних гребней через ту же точку пространства, крутизна волны и угол наибольшей крутизны склона α .

Поверхностные волны

Схема такого волнового движения (схема Герстнера) приведена на фиг. 264. Здесь толща колеблющейся воды разбита вертикальными плоскостями на столбы, деформации которых и показаны на схеме. Амплитуда волнового движения уменьшается с глубиной.

Такая волна носит название поверхностной волны; она может развиваться на море, с глубиной, превышающей глубину, на которой затухают колебания.



Фиг. 264

Характерными признаками поверхностной волны являются: малая разница в размерах вертикальных и горизонтальных амплитуд частиц волны; сравнительная малость их амплитуды и длины волны относительно глубины моря.

Скорость перемещения волн прямо пропорциональна $\sqrt{\lambda}$, чем и объясняется появление в местах моря, отдаленных от места возникновения волнения, сперва длинных волн (зыби), а за ними — более коротких.

Приливные волны

Приливные волны имеют следующие признаки:

вертикальное движение частиц в них мало по сравнению с горизонтальным;

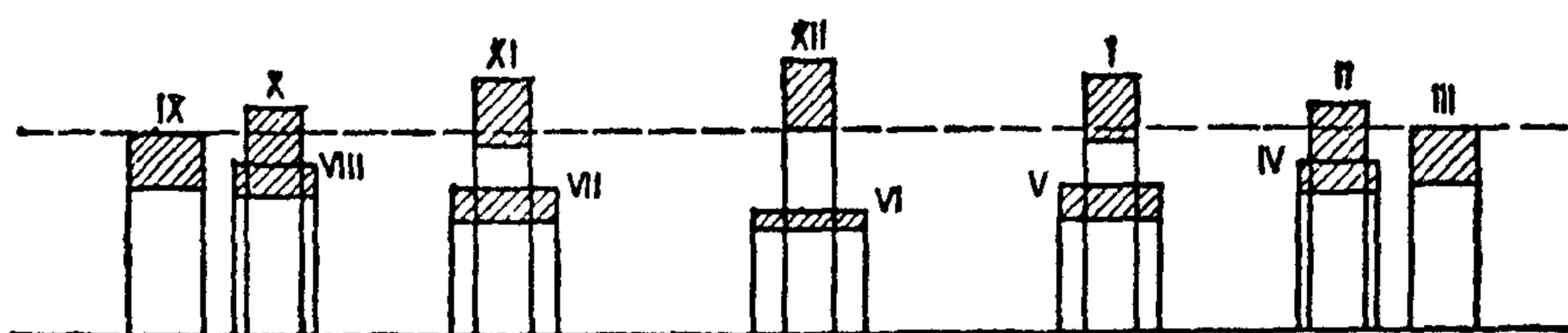
частицы воды, расположенные вертикально друг под другом, всегда сохраняют это расположение;

отношение высоты волны к величине горизонтального колебания частиц мало и того же порядка, что и отношение глубины воды H к длине волны λ .

Приливая волна образует сильное течение на гребне и подошве волны. Фазы колебаний скоростей ее течения и колебаний уровня всегда совпадают.

Движение частиц в приливных волнах происходит до самого дна моря, как на глубокой воде, так и на мелководьи.

Для очень больших длин волн водяные столбы фиг. 264 не будут наклоняться, а будут скользить в обе стороны, сохраняя вертикальное положение.



Фиг. 265

Схема приливной волны (по Лагранжу) дана на фиг. 265. Такое внутреннее движение частиц имеют чисто приливные волны ($\lambda =$ от 440 до 14000 км) с несоразмерно малыми вертикальными амплитудами сравнительно с горизонтальными.

Под влиянием различных факторов, как-то: изменения профиля дна, воздействия внешних сил (вращение земли, землетрясение, трение о дно и берега), чисто приливая волна трансформируется и образует разновидности, оставаясь с физической точки зрения неизменной. К таким разновидностям относятся сейши, т. е. стоячие волны, образованные интерференцией нормальных набегающих и отраженных волн; они вызывают периодические колебания уровня.

В зависимости от формы моря и конфигурации его дна основные свободные колебания в нем могут принимать весьма сложные формы.

Волны приливного типа. Одиночные волны

Волна Скотт-Русселя — волна перемещения. Открытая случайно Скотт-Русселем волна относится к переходной форме волн, у которых вертикальное движение частиц хотя и много меньше горизонтального, но

вполне соизмеримо с ним. Исследуя буксировку барж в канале, Скотт-Руссель установил некоторую критическую скорость, после которой сопротивление буксируемого в канале тела не только не растет, но значительно падает. Скорость эта строго равна скорости перемещения в канале, возникшей при буксировке „волны перемещения“, названной волной Скотт-Русселя.

Эта волна перемещается с равномерной скоростью $c = \sqrt{g(H + h)}$, где h — высота гребня. Волна состоит из одного только холма большой длины без впадины. Ее нельзя отнести к разряду периодических волн.

Прибойные волны — одиночные волны, возникающие при набегающей волне на пологий берег. Часто они образуют правильные ряды и, следовательно, не совсем подходят к одиночным волнам.

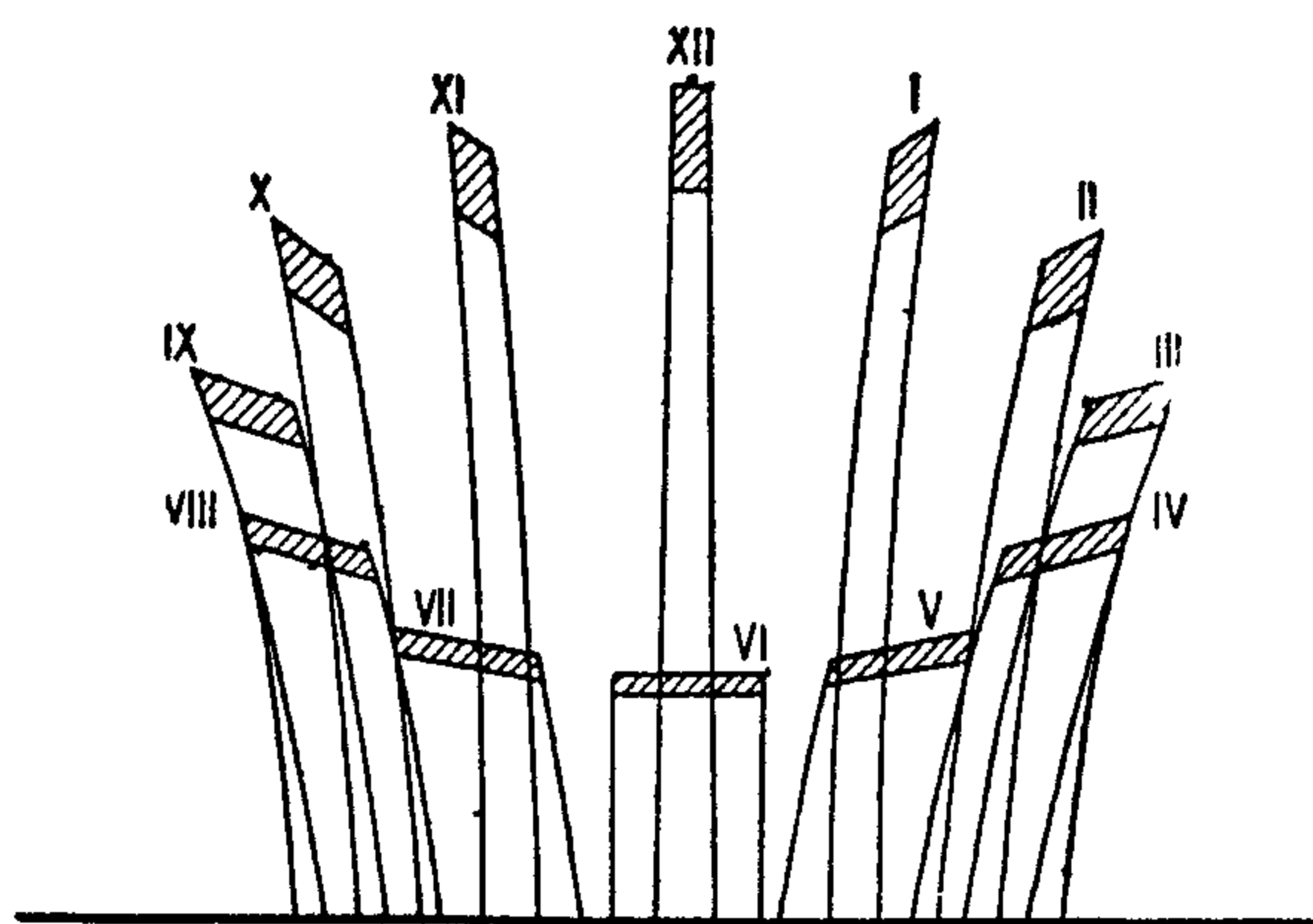
По своей природе они не чистопериодические, так как переносят вперед значительную массу воды, которая не вся вновь возвращается в общем колебательном движении, а частью стекает по дну, образуя обратное течение.

По Скотт-Русселю одиночная волна прибоя разбивается, когда ее высота становится близкой к глубине воды H . По экспериментальным данным эти волны разбиваются, когда высота их равна $0,4H$, однако, этот момент зависит еще от наклона берега и силы ветра, последний ускоряет разбивание, если он дует в направлении волны, и задерживает его (до глубины $0,36H$), если он встречный. При наклоне берега $1/12$ разбивание волны по наблюдениям происходило на глубине $H > h$.

Наблюдения отмечают явление прибоя (бурунов) на глубинах до 200 м, где его возникновение можно объяснить большим террасообразным подъемом дна.

Волна Лапласа и похожие на нее мелководные волны. Если волну Лапласа разбить на отдельные столбы, то получится схема фиг. 266. Здесь столбы не только скользят взад и вперед, как у чисто приливной волны, но и наклоняются еще в обе стороны.

По схеме Лапласа частицы воды описывают эллипсы, вертикальная ось которых уменьшается с глубиной и исчезает совсем на дне. Горизонтальная ось орбит также уменьшается, но не обращается в нуль на дне, и частицы, следовательно, описывают там горизонтальные прямые, сдвигаясь в обе стороны попеременно. Волна Лапласа не будет чисто периодической, она переносит водяные массы в направлении своего перемещения. Орбиты частиц в такой волне не могут быть замкнутыми эллипсами.



Фиг. 266

Трохоидальные волны

Трохоидальная теория

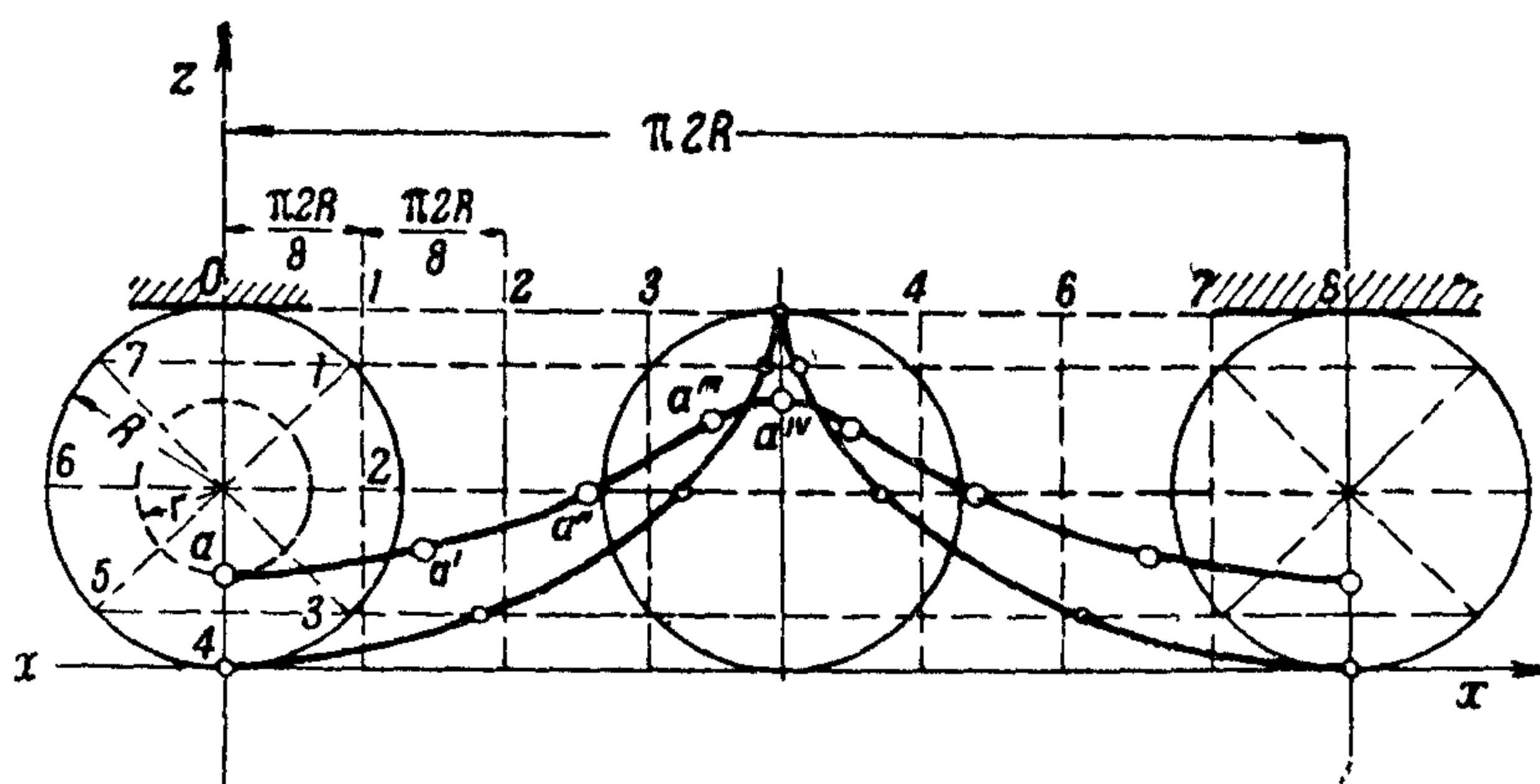
Герстнер разработал теорию волновых колебаний, полагая частицы колеблющимися по круговым орбитам. Такого вида волнение встречается в море после прекращения ветра и называется зыбью, являясь свободными колебаниями поверхности в отличие от неустановившегося ветрового волнения.

Кривой, наиболее приближающейся к форме наблюдаемых морских волн, будет трохоида (фиг. 267) (Трохоидой называется периодическая кривая, описываемая какой-либо точкой, лежащей внутри круга, катящегося

по прямой без скольжения. Уравнение трохойды относительно осей координат, указанных на фиг. 267 в зависимости от угла поворота φ катящегося круга, будет:

$$x = R\varphi - r \sin \varphi; \quad z = R - r \cos \varphi,$$

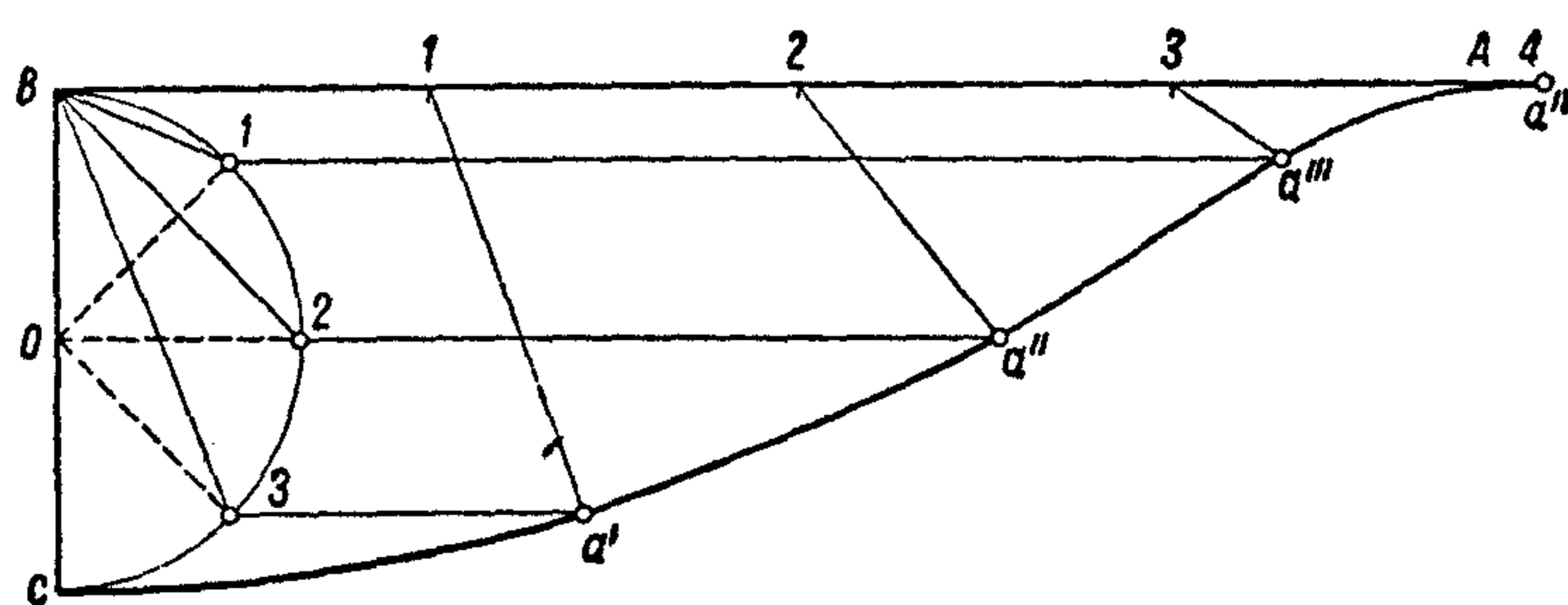
где R — радиус катящегося круга; r — радиус производящего круга).



Фиг. 267

Построение трохойды (фиг. 268). AB — половина длины волны, BC — высота волны.

Разделив полуокружность BC на то же число частей, что и длину AB , соединяют точки 1, 2, 3 окружности с точкой B и проводят через эти



Фиг. 268

точки прямые, параллельные AB . Проведя из точек 1, 2, 3 на прямой AB линии, параллельные прямым $B1$, $B2$, $B3$ получают в пересечении их с горизонтальными прямыми точки искомой трохойды.

Таблица LIV

Ординаты профиля трохойдальной волны

№ ординат	$\frac{x}{\lambda}$	$\frac{z}{h} \cdot 100$ для различных значений $\frac{h}{\lambda}$				
		$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{22}$	$\frac{1}{24}$
0 и 20 . . .	0 и 1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1 и 19 . . .	0,05 и 0,95	96,3	96,5	96,6	96,7	96,8
2 и 18 . . .	0,10 и 0,90	86,1	86,6	87,1	87,5	87,8
3 и 17 . . .	0,15 и 0,85	71,9	72,8	73,5	74,1	74,6
4 и 16 . . .	0,20 и 0,80	55,9	57,0	57,9	58,6	59,1
5 и 15 . . .	0,25 и 0,75	40,4	41,4	42,3	43,0	43,5
6 и 14 . . .	0,30 и 0,70	26,6	27,4	28,0	28,5	29,0
7 и 13 . . .	0,35 и 0,65	15,2	15,7	16,1	16,1	16,8
8 и 12 . . .	0,40 и 0,60	6,9	7,1	7,3	7,5	7,7
9 и 11 . . .	0,45 и 0,55	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9
10 . . .	0,5	0	0	0	0	0

Для удобства и ускорения построения профиля трохойды в таблице LIV даны для 20 точек абсциссы x в частях λ и ординаты z в сотых долях высоты волны h для разных отношений $\frac{h}{\lambda}$ (от $\frac{1}{16}$ до $\frac{1}{24}$).

Слои жидкости, отделенные друг от друга на разных глубинах горизонталями при образовании поверхностных волн будут также образовывать (фиг. 269) волновые линии одинаковой длины, но с амплитудами, быстро уменьшающимися по мере роста глубины расположения их под поверхностью по закону:

$$r = r_0 e^{-\frac{2\pi}{\lambda} z},$$

где r_0 — радиус орбиты частицы на поверхности,
 r — радиус орбиты частицы на глубине z под поверхностью.

При трохойдальном волнообразовании, из-за неравенства площадей гребня и впадины, ось, делящая пополам площадь трохойды, лежит выше первоначального уровня воды в покое, на величину a , определяемую выражением

$$a = \frac{\pi r^2}{\lambda}.$$

Зависимость между элементами трохойдальной волны. Скорость перемещения волны:

$$c = \frac{2\pi R}{T} = \frac{\lambda}{T} = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}.$$

Длина волны:

$$\lambda = 2\pi R = \frac{gT^2}{2\pi} = \frac{2\pi}{g} c^2.$$

Период волны:

$$T = \sqrt{\frac{2\pi}{g} \lambda} = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}.$$

Групповая скорость волн: две системы волн трохойдальной формы различной длины, идущих в одном направлении, интерферируя, образуют группы волн разной высоты.

Две системы трохойдальных волн одинаковой длины и направления дают в результате интерференции одну волну трохойдальной формы, высотой:

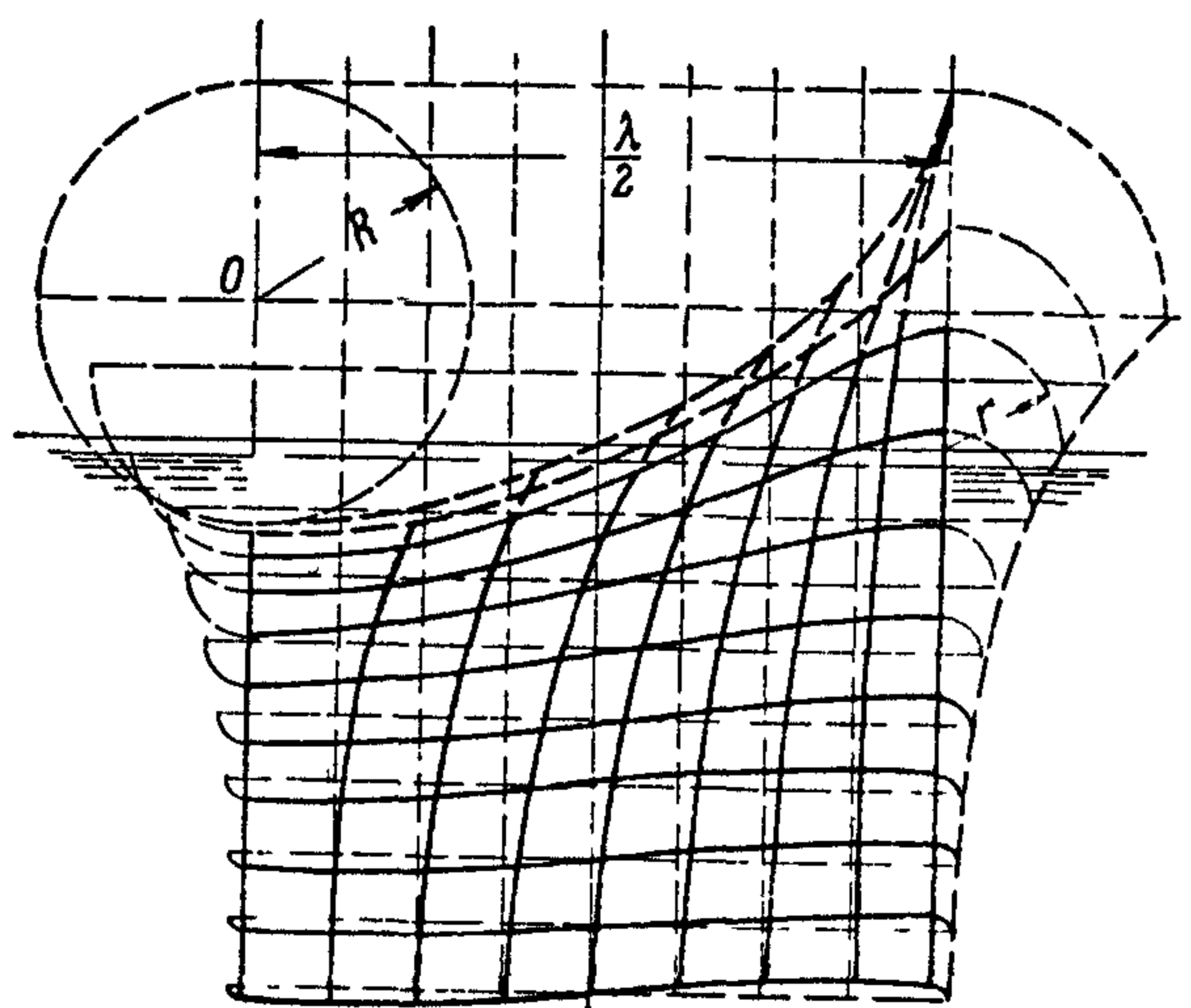
$$h' = \sqrt{h_1^2 + h_2^2 + 2h_1 h_2 \cos \frac{2\pi a}{\lambda}},$$

где h_1 и h_2 — высота интерферирующих волн, а $2\pi \frac{a}{\lambda}$ — разность фаз производящих кругов трохойд.

Групповая скорость $c_{гр}$ — это скорость перемещения наиболее высокой волны в группе волн; по вычислениям Стокса

$$c_{гр} = \frac{1}{2} c,$$

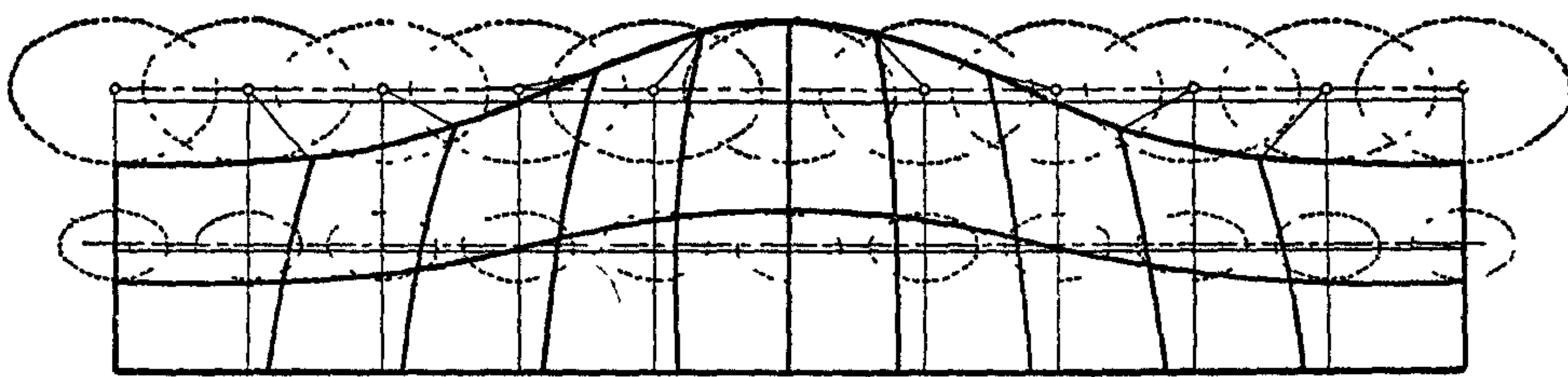
где c — скорость интерферирующих волн.



Фиг. 269

Волны на мелководьи

В поверхностных волнах, образующихся на мелководьи, орбиты частиц воды — эллиптические с горизонтально расположенной большой осью (фиг. 270). Мелководная волна имеет более крутые гребни и более пологие впадины. Основные элементы волны даются следующими выражениями:



Фиг 270

Скорость волны с эллиптическими орбитами частиц определяется по формуле

$$c' = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \sqrt{\frac{b}{a}} = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \sqrt{\operatorname{tgh}\left(\frac{2\pi H}{\lambda}\right)},$$

где a — большая ось эллипса, а b — малая.

В таблице LV приведено сравнение волны на мелководьи и на глубокой воде для различных отношений $\frac{b}{a}$.

Таблица LV

Отношение глубины воды к длине волны $\frac{H}{\lambda}$	Отношение осей эллиптических орбит поверхностных частиц $\frac{b}{a} = \sqrt{\operatorname{tgh}\left(\frac{2\pi H}{\lambda}\right)}$	Отношение длин волн на мелководьи и глубокой воде при одной и той же скорости	Отношение скоростей волн на мелководьи и глубокой воде при одной и той же длине волны $\frac{c'}{c}$	Отношение глубины воды к длине волны $\frac{H}{\lambda}$	Отношение осей эллиптических орбит поверхностных частиц $\frac{b}{a} = \sqrt{\operatorname{tgh}\left(\frac{2\pi H}{\lambda}\right)}$	Отношение длин волн на мелководьи и глубокой воде при одной и той же скорости	Отношение скоростей волн на мелководьи и глубокой воде при одной и той же длине волны $\frac{c'}{c}$
0,01	0,063	15,900	0,251	0,25	0,917	0,091	0,958
0,02	0,124	8,080	0,352	0,30	0,955	1,047	0,977
0,03	0,186	5,376	0,431	0,35	0,975	1,026	0,987
0,04	0,246	4,065	0,496	0,40	0,987	1,013	0,993
0,05	0,304	3,289	0,562	0,45	0,993	1,007	0,996
0,075	0,439	2,277	0,663	0,50	0,996	1,004	0,998
0,10	0,557	1,796	0,746	0,60	0,999	1,001	0,999
0,15	0,736	1,358	0,858	0,75	0,9999	1,0001	0,9999
0,20	0,847	0,180	0,920	1,00	0,99999	1,00001	0,99999

При $\frac{\lambda}{H} > 10$, необходимо пользоваться формулой $c = \sqrt{gH}$,

при $\frac{\lambda}{H} < 4$ " " " " $c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$,

при $4 < \frac{\lambda}{H} < 10$ " " " " $c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} \operatorname{tgh}\left(\frac{2\pi H}{\lambda}\right)}$.

Период волны на мелководьи:

$$T = \frac{\lambda}{c} = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g \operatorname{tgh} \frac{2\pi H}{\lambda}}}$$

Длина волны на мелководьи.

$$\lambda = \frac{2\pi c^2}{g \operatorname{tgh} \frac{2\pi H}{\lambda}}$$

Величина полуосей эллиптических орбит частиц на различных глубинах:

$$\frac{b}{a} = \operatorname{tgh} \left[(z + H) \frac{2\pi}{\lambda} \right] = \frac{e^{\frac{4\pi(z+H)}{\lambda}} - 1}{e^{\frac{4\pi(z+H)}{\lambda}} + 1}$$

Ветровые волны

Фазы волнообразования: 1) Легкое потускнение зеркальной водной поверхности при скорости ветра 0,2 м/с; 2) исчезновение зеркала и появление завихрений при 0,45 м/с (волны третьего порядка); темные полосы и пятна на светлой поверхности; 3) при скорости ветра 0,85 м/с появление равномерно по всей поверхности мелких волн высотой $h=2-9$ см и $\lambda=5-6$ см, увеличивающихся вместе с продолжительностью ветра; 4) развитие волн по мере роста ветра и его продолжительности в равномерное волнение почти одинакового размера (двухмерные волны); 5) распадение гребней на отдельные холмы, вся поверхность покрывается трехмерными волнами; 6) распространение при шторме от места шторма сперва длинных волн зыби, а затем все более коротких; 7) затухание по мере уменьшения ветра сперва более коротких волн; переход длинных волн постепенно в правильные, пологие волны зыби.

Зависимость элементов волн от силы ветра (W), его продолжительности (t) и длины свободной поверхности (D) определяется эмпирическими формулами Боргена:

для высоты волны h .

$$h = \frac{\frac{1}{3} W}{\left(1 + \frac{6,68 W}{D}\right) \left(1 + \frac{1,86}{t}\right)} [м],$$

для длины волны λ :

$$\lambda = \frac{12,34 W}{\left(1 + \frac{47,78 W}{D}\right) \left(1 + \frac{13,31}{t}\right)} [м],$$

где W — скорость ветра в м/с,

D — длина свободной водной поверхности в км,

t — время воздействия ветра в ч.

Наблюдения показывают, что вначале, с усилением ветра, длина волны быстро возрастает, затем нарастание замедляется, а после прекращения действия ветра длина волны долго сохраняется, в то время как высота сравнительно быстро убывает.

Влияние уменьшения глубины на элементы волн

Высота волн при переходе с больших глубин на меньшие увеличивается, и сами они становятся круче:

$$h_1 = h \sqrt[4]{\frac{H}{H_1}},$$

где H — начальная глубина и h — соответствующая ей высота волны, а h_1 — высота волны на меньшей глубине H_1 .

С уменьшением глубины длина волн становится меньше:

$$\lambda = T\sqrt{gH}.$$

Влияние на элементы волн ширины бассейна

Если известна начальная высота волны h при ширине залива b , то в меньшей ширине залива b_1 высота h_1 волны может быть определена по формуле:

$$h_1 = h \sqrt{\frac{b}{b_1}}.$$

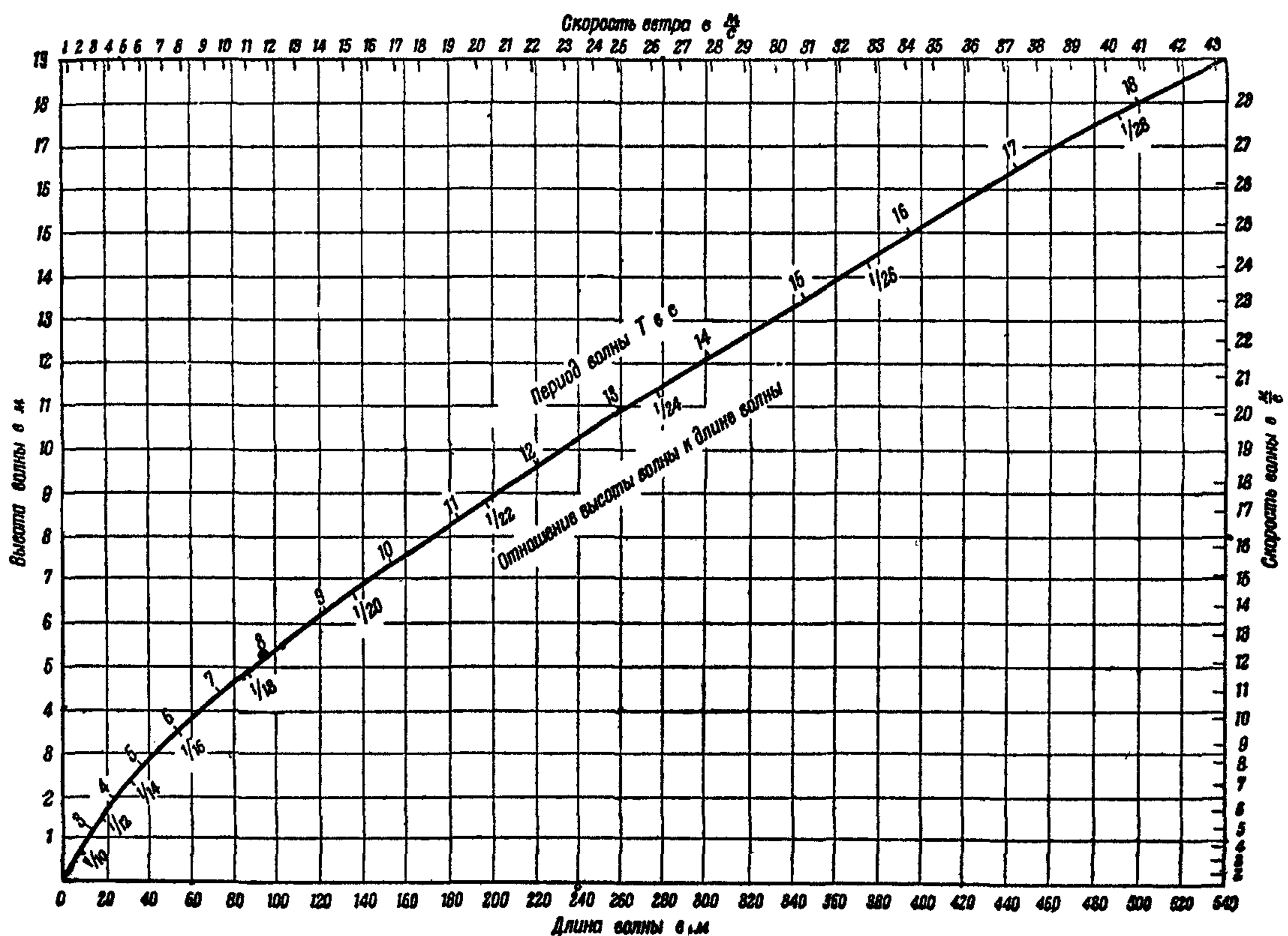
Достаточно удовлетворительных эмпирических формул, связывающих величины длины волны λ и ее периода T с размерами бассейна, до настоящего времени нет.

Размеры ветровых волн по результатам наблюдений

Циммерман использовал материалы 198 наблюдений и, обработав, дал графическую зависимость элементов ветровой развившейся волны в открытом море (фиг. 271).

На фиг. 272 приведены кривые длин волны λ и высоты ее h в зависимости от периода T .

На фиг. 273 дана кривая состояния моря в баллах и высот волны в зависимости от скорости ветра в м/с и в баллах шкалы Бофорта (см. также таблицу LVI).



Фиг. 271

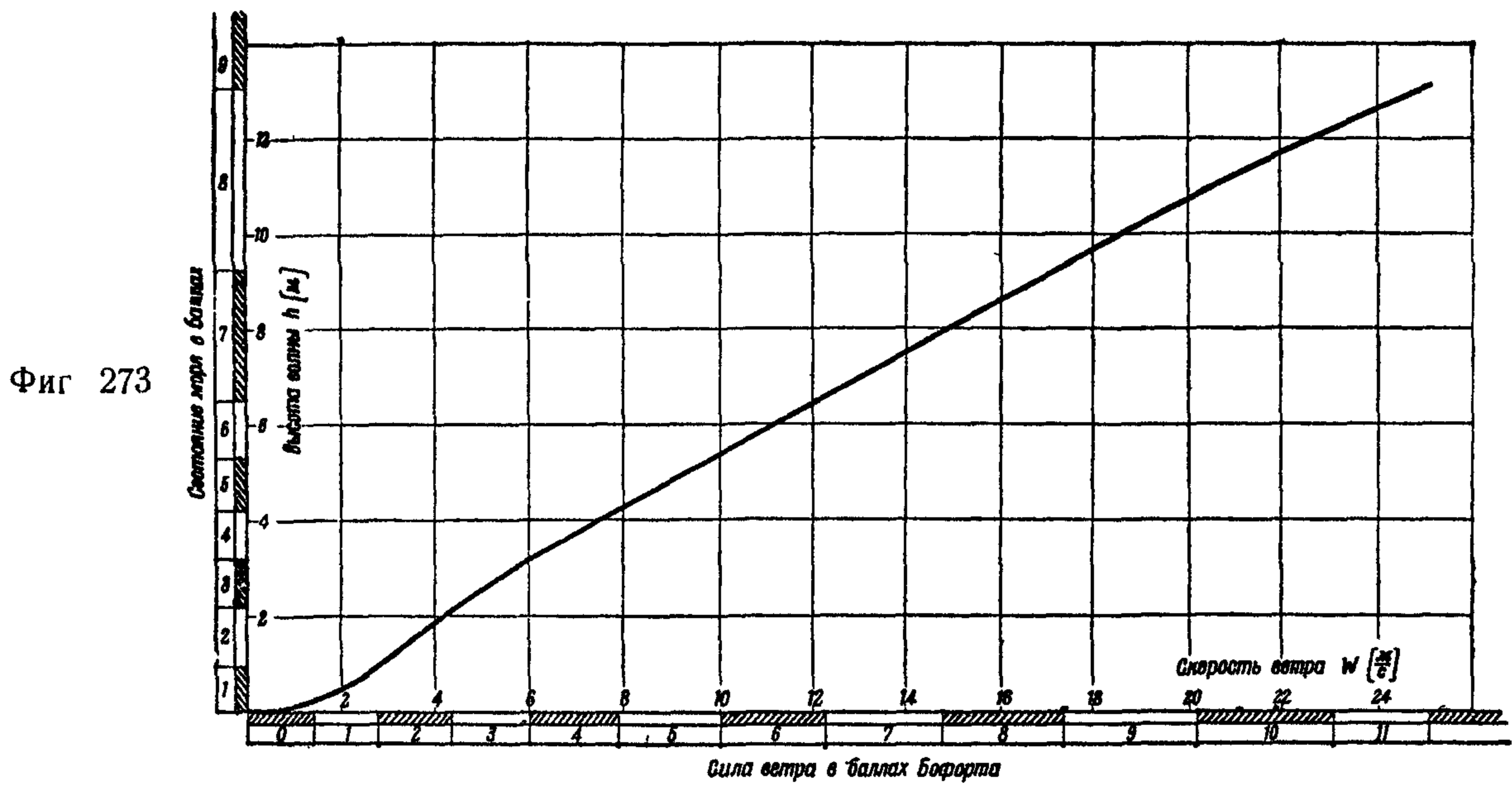
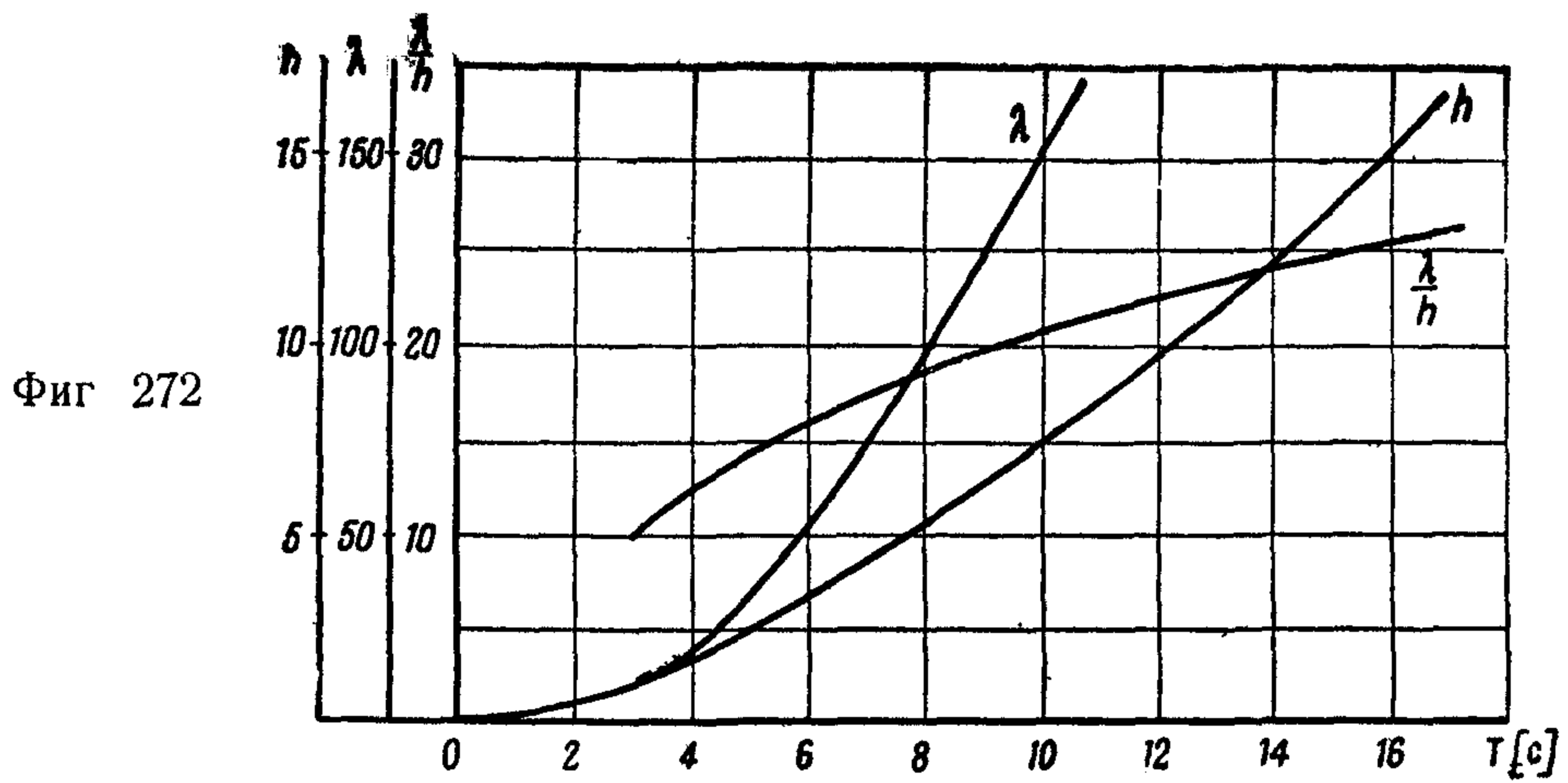


Таблица LVI

В е т е р			Волнение в открытом море		
Сила ветра в баллах Борфорта	Средняя скорость ветра W [м/с]		Состояние моря (по Циммерману)	В бал- лах	Высота волны [м]
	на вы- соте 2 м над зем- лей	на вы- соте 12 м над зем- лей			
0 Штиль	0,2	0,3	Зеркальная поверхность воды	0	0
1 Легкий ветерок	1,4	1,8	Местами потемневшая гладкая поверхность воды	1	1
2 Легкий ветер	2,8	3,6	Спокойная поверхность	2	1
3 Слабый ветер .	4,3	5,6	Легкое волнение .	3	2,2
4 Средний ветер	6,0	7,9	Усиленное волнение . .	4	3,2
5 Свежий ветер .	7,9	10,4	Ясно выраженное вол- нение	5	4,2
6 Сильный ветер	10,0	13,1	Крупная волна	6	5,3
7 Очень сильный ветер	12,2	16,0	Сильное волнение, высокие волны	7	от 6,5 до 7,5
8 Штормовой ветер	14,7	19,1	Очень сильное волне- ние,		от 9,3 до 10,5
9 Шторм	17,3	22,4	очень высокие волны .	8	до 10,5
10 Свежий шторм	20,1	26,0	Исключительно сильное волнение,		от 13 и выше
11 Сильный шторм .	23,0	29,7	штормовая волна	9	
12 Ураган	25 и выше	32 и выше			

Определение элементов волн

Замер элементов волны с корабля

Скорость волны (c) определяется по замеренному времени (t) прохождения ее гребня между двух марок, нанесенных на борту корабля в определенном расстоянии (l).

Корабль на якоре:

$$c = \frac{l}{t}.$$

Корабль на ходу со скоростью V .

$$c = \frac{l}{t} \pm V.$$

Направление скорости перемещения волн не совпадает с диаметральной плоскостью корабля:

$$c_s = \left(\frac{l}{t} \pm V \right) \cos \alpha.$$

Угол α между диаметральной плоскостью и направлением скорости c определяется пеленгированием.

Длина волны λ определяется по скорости c и времени t' прохождения двух гребней соседних волн мимо одной марки на борту.

Корабль на якоре:

$$\lambda = ct'.$$

Корабль на ходу со скоростью V по волне или против волны:

$$\lambda = (c \mp V) t'.$$

Корабль на ходу под углом α к направлению скорости волны

$$\lambda = (c \mp V \cos \alpha) t'.$$

Период волны определяется по длине волны и ее скорости:

$$T = \frac{\lambda}{c}.$$

Высота волны грубо определяется наблюдением за погружением в воду футштока, укрепленного на борту при прохождении мимо него гребней и впадин волн. Разность отметок дает высоту волны. Высота больших волн определяется в момент нахождения корабля на впадине волны по той высоте, на которую должен подняться наблюдатель, чтобы видеть гребень волны в створе с горизонтом или следующей волной. Наиболее простым и точным методом замера высоты волны является замер ее при помощи чувствительного барографа (микро-барограф Шулейкина).

Замер элементов волны с берега

Метод Лойдиса. В прибрежной зоне устанавливаются три вехи на мертвых якорях, образующих равнобедренный треугольник (фиг. 274).

Наблюдения состоят в отметке времени t_1 , t_2 и t_3 прохождения гребня волны через вежи A , B и C . Кроме того, отмечается время t_0 прохождения мимо последней вежи гребня следующей волны.

Из геометрического построения определяются
длина волны

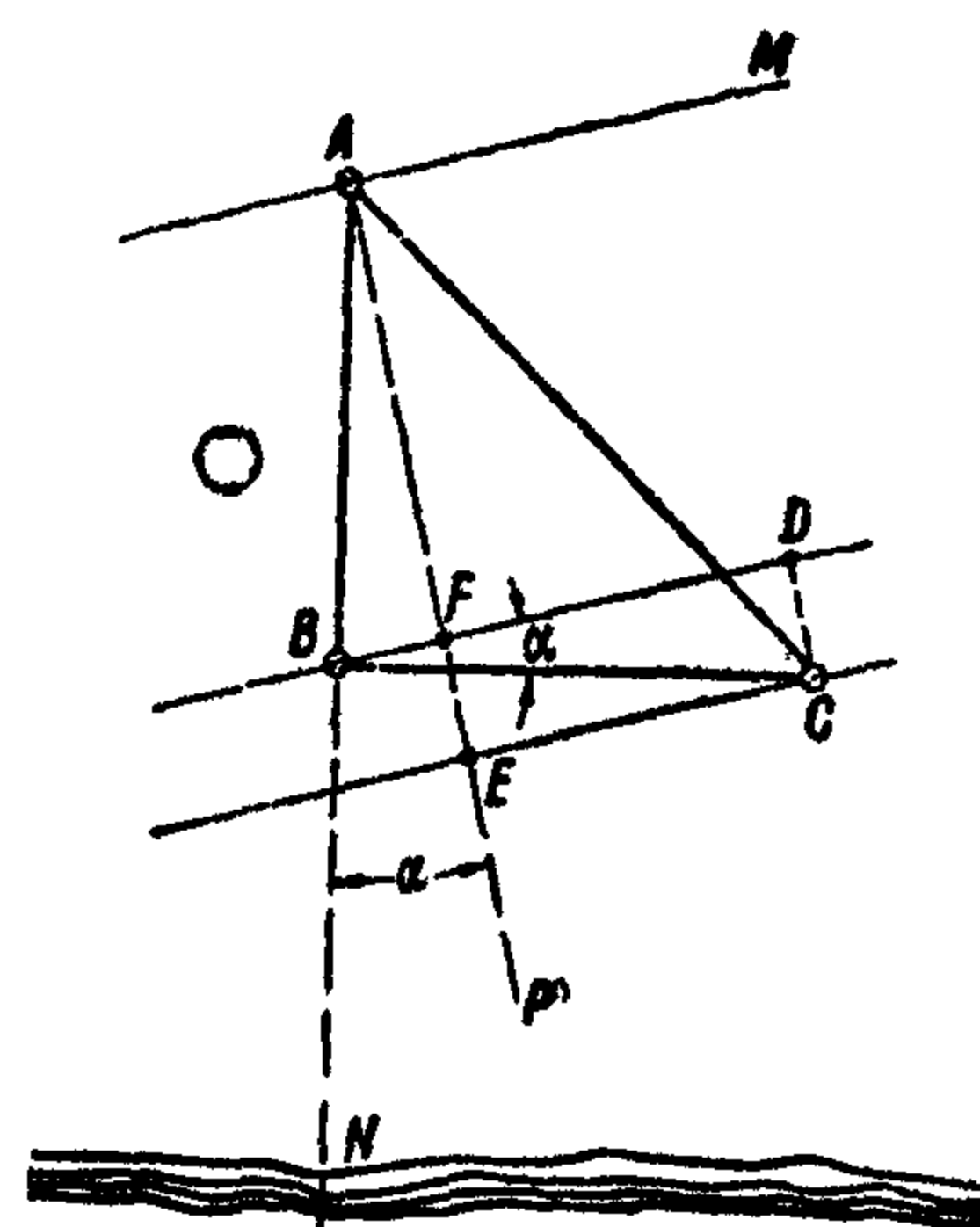
$$\lambda = b \frac{t_n - t_0}{t_3 - t_1} \sin(45^\circ + \alpha),$$

скорость волны

$$c = \frac{b \sin(45^\circ + \alpha)}{t_3 - t_1}$$

Здесь t_n — время прохождения гребня мимо последней вежи, $b = AC$ — гипотенуза треугольника, а угол α определяется из зависимости

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{t_3 - t_2}{t_2 - t_1}$$



Фиг 274

Модификацией этого метода является метод Шулейкина, в котором вежи отсутствуют и заменяются отметками в поле зрения оптической грубы, установленной неподвижно и направленной на данный район моря.

Высота волны определяется наблюдением за вертикальными колебаниями буйка около разделенной на дециметры вежи или буйка, наблюдаемого с берега через визирную сетку горизонтальных нитей.

БИБЛИОГРАФИЯ

- 1 Шокальский Ю. М. — Физическая океанография — Л 1933
- 2 Шулейкин В. В. — Физика моря, т. I — М — Л 1933
- 3 Березкин В. А. — Приливы и волны — Л 1932, 310 стр.
- 4 Березкин В. А. — Элементы волны Финского залива — Записки по гидрографии* 1931, т. LXV, стр. 57—82, 8 илл.
- 5 Thorade H. — Probleme der Wasserwellen — Hamburg, H. Grand, 1931, 219 p.
- 6 Förster E. „Johow-Förster—Hilfsbuch für den Schiffbau, v. I“ B. J. Springer, 1928, 990 p.
- 7 Лоции морей СССР. Изд. Гидрограф. Упр-ния ЛНД.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- А**
- Амфибии — 61
 Аперiodические колебания — 8
 Ахтерштевень — 125
 Аэродинамические силы — 75, 220, 221, 223
 Аэродинамическое сопротивление — 68, 76, 90, 220
- Б**
- Барс — 7
 Бассейн (канал) — 10, 51
 Бассейн для статических опытов — 57
 Батоксы — 4, 86, 87, 123
 Бок — 123
 Борта развал — 89
 Брызговая струя — 13, 14, 76, 77
 Брызгообразование — 86, 87, 88, 120, 121, 128, 129, 130
 Брызги отражатели — 256
 Буксировка в натуру — 254, 255
 Буксировочные испытания моделей — 55, 56, 73, 121, 128, 230
- В**
- Ватерлиния — 4, 197, 201, 213
 Вертикальное погружение — 33
 Верхняя строительная горизонталь — 123
 Вес модели — 121
 Весовое водоизмещение — 4, 198
 Весомость воды — 20
 Взлет — 51, 61, 63, 71, 76
 Взлет нормальный — 9
 Взлетные углы атаки — 90
 Взлетные характеристики — 70, 257
 Винт — расположение — 61
 Внешний угол поперечной килеватости — 4, 125
 Внутренний угол поперечной килеватости — 125
 Возмущенное движение воды — 11
 Водоизмещение весовое — 4, 198
 Водоизмещение объемное — 4, 198
 Водоизмещение поплавков — 69, 70
 Водонепроницаемые двери — 72
 Водонепроницаемые камеры — 72
 Водонепроницаемые переборки — 71, 72
 Волновое движение — 11, 22
 Волновое сопротивление — 11
 Волнообразование — 51
 Волнорез — 88, 91, 125,
 Волны ветровые — 269, 270
 Волны высота — 272
 Волны мелководные — 265
 Волны морские — 263
 Волны носовые — 67
 Волна Скотт-Русселя — 264
 Волна Лапласа — 265
 Волны на мелководьи — 268
 Волны приливного типа — 263
 Восстанавливающий момент — 8, 9, 57, 63, 67, 68, 69, 70, 87, 214
 Время разбега — 71, 231—234
- Всплывание центра тяжести — 4, 73, 74, 75**
- Второй закон гидростатики — 198
 Второй редан — 87, 88
 Высота редана — 87, 125
 Высота лодки — 4, 86
 Выход на редан — 9, 67, 75
 Вязкость — 11, 51, 55
- Г**
- Геометрические параметры корпуса — 77
 Гидродинамическое качество — 4, 75, 77, 86
 Гидродинамический момент — 52
 Гидродинамическая подъемная сила — 4, 8, 220
 Гидродинамический расчет гидросамолета — 195, 220
 Гидродинамические силы — 8, 12, 17, 220, 222
 Гидродинамическое сопротивление — 4, 68, 69, 70, 73, 74, 75, 76, 88, 90, 91, 120, 220, 221, 225, 226, 230, 260
 Гидродинамические характеристики — 72, 77, 91, 260
 Гидродинамические характеристики профилей — 96, 122—123
 Гидродинамические характеристики семейств обводов — 127
 Гидросамолет — 7, 61
 Гидродинамическое качество моделей — 127
 Гидростатика гидросамолета — 61
 Гидростатический восстанавливающий момент — 65—70
 Гидростатические испытания — 57
 Гидростатическая поддерживающая сила — 198
 Гидростатический расчет гидросамолета — 195
 Гидростатическая сила — 7, 24, 25
 Гипотеза стационарности — 221
 Глиссирование — 8, 10, 12, 16, 74, 75
 Глиссирование модели — 73
 Глиссирование на редане — 9
 Глиссирующая пластинка — 19
 Глиссирование профилей мидель-шпангоутов — 91
 Глиссирование профилей с различной килеватостью — 120
 Горб сопротивления — 73
 Горизонтальное оперение — 61
 Границы удара — 36
 Грузовая ватерлиния — 69, 198, 207
 Грузовой размер — 200, 201
 Групповая скорость волн — 267
- Д**
- Давления максимальные — 48
 Давление на днище — 33, 43, 45, 46, 47
 Движение гидросамолета при разбеге — 220, 221
 Движение пластинок конечной ширины — 2
 Двойная скула — 130
 Двухлодочные гидросамолеты — 66
 Двухлодочная модель — 132



Двухпоплавковый гидросамолет — 66, 129, 156, 160, 164, 168, 172
Диаграммы Риды — 57, 206, 209
Динамическая и статическая остойчивость — 67, 202
Динамическая упорная ватерлиния — 207
Диферент — 56, 74
Длина волны — 274
Длина лодки (поплавка) — 4, 78, 83
Длина межреданной части — 80, 83
Длина носовой части — 78, 83
Длина удара — 37
Доводка гидросамолета — 256
Дрейф — 8, 9, 69, 257

Ж

Жабры (плавники или штуммеля) — 66, 67, 71
Жидкий груз — 208, 214

З

Забрызгивание винта — 8
Закон гидростатики (первый) — 198
Закон гидростатики (второй) — 198
Закон подобия Фруда — 23, 51, 52
Заливание палубы — 78, 88
Замывание бортов — 121
Замывание корпуса — 8
Замывание межреданной части днища — 73
Запас водоизмещения — 7
Запас пловучести гидросамолета — 63, 66, 86, 198
Зарывание носом — 78

И

Избыток тяги — 234
Индуктивное сопротивление — 22
Индуктивное сопротивление жабр — 66
Испытания гидросамолета — 50, 253
Испытание изогнутых пластин — 93
Испытание моделей — 121
Испытание плоскокилеватых профилей — 93
Испытание плоских пластин — 93
Испытание профилей — 93—120

К

Качка на волне — 246, 247
Качка гидросамолета — 63, 244
Качка поперечная — 245
Качка продольная — 245
Качка на тихой воде — 245
Килевая линия — 123
Кинематический коэффициент вязкости — 4, 28, 51
Кинематическая энергия струи — 13
Классификация волн — 263
Колебания аперидические — 8
Колебания гидросамолета — 261
Колебание моделей — 241
Колебательные волны — 263
Координаты ц. в. — 199, 200, 202
Кормовая часть — 89, 123
Корпус — 123
Коэффициент глиссирования — 4, 120
Коэффициент динамической нагрузки — 4, 22
Коэффициент запаса пловучести — 63, 198
Коэффициент метацентрических высот — 65
Коэффициент момента — 4, 74, 91
Коэффициент нагрузки — (статической на воду) — 4, 56, 74, 77, 83, 91, 121, 123, 128

Коэффициенты полноты — 86
Коэффициент скорости — 74, 77, 91, 123
Коэффициент смоченной площади — 91
Коэффициент сопротивления — 4, 74
Коэффициент трения — 26, 52
Критическая скорость — 75, 87

Л

Ламинарный пограничный слой — 26
Летающая лодка — 7, 61, 66, 83, 136, 140, 144, 148, 152, 210
Летающая лодка с жабрами — 9, 61, 212
Летающая лодка с поддерживающими поплавками — 61, 211
Летающие лодки с подкрыльными поплавками — 9, 61
Лобовое сопротивление — 61, 223
Ложный киль — 123
Ложная скула — 125

М

Маневренность — 9, 254
Маневрирование на воде — 63
Масштаб Бонжана — 200, 201, 202
Масштаб модели — 55
Масштабный эффект — 50, 51, 53, 54, 55
Межреданная часть — 83, 88, 123
Мелководные волны — 265
Местные давления на днище — 45
Метацентр — 48, 204
Метацентрическая высота — 4, 8, 64, 205
Метацентрическая обертка — 213
Метацентрический радиус — 4, 204
Метацентрическая формула остойчивости — 205
Метод кино съемки береговых створов — 259
Метод кино съемки горизонта — 261
Метод непрерывной фотосъемки горизонта — 261
Мидель — 61, 125
Модели гидросамолетов — 121, 131, 188
Модели двухпоплавковых гидросамолетов — 127
Модели летающих лодок — 121, 125
Модели однопоплавковых гидросамолетов — 121, 127
Момент диферента — 4, 56, 64, 73, 74, 75, 86
Момент инерции — 4, 43, 248
Момент крена — 4, 8, 9, 65
Момент крена от ветра — 214
Момент остойчивости веса — 205
Момент остойчивости формы — 205
Момент отрыва — 74
Момент погружения — 33
Мореходность — 61, 69
Мореходные качества — 7
Морские волны — 284
Морские испытания гидросамолета — 257

Н

Нагрузка на воду — 4, 91, 221, 226, 237
„Наивыгоднейший угол диферента“ — 74
Накладки-отражатели — 129
Наклонение гидросамолета — 63, 197, 216
Нагрузка на воду начальная — 121
Начальная остойчивость — 202
Непотопляемость — 63, 71, 216, 217, 218
Непотопляемость двухпоплавкового гидросамолета — 217

Несущие поплавки — 70, 71
 Неустойчивость курса — 87, 88
 Неустойчивость хода — 87
 Нижняя строительная горизонталь — 123
 Нормальный взлет — 9
 Нормальная посадка — 10, 48
 Носовые волны — 67
 Носовая часть — 83, 86, 123

О

Обводы — 10, 125
 Обдувка от винтов — 224
 Объемное водоизмещение — 4, 198
 Одиночные волны — 264, 265
 Однопоплавковый гидросамолет — 180, 184
 Опрокидывающий момент — 69
 Опытный бассейн — 10, 51
 Ординаты центра величины — 200
 Осадка — 198
 Осадка несущих поплавков — 70
 Остойчивость — 8, 63, 64, 65, 67, 68, 202
 Остойчивость динамическая — 202
 Остойчивость начальная — 202
 Остойчивость поперечная — 7, 61, 63, 66, 67, 75, 209, 212, 214, 256
 Остойчивость продольная — 7, 9, 63, 205, 208
 Остойчивость статическая — 67, 75, 202
 Ось наклона — 202
 Отрыв — 7, 75, 225

П

Параметры модели стандартные — 56
 Первый вылет — 253, 255
 Первый закон гидростатики — 198
 Перегрузки — 48
 Перегрузка вибрационная — 50
 Перегрузка на редане — 48
 Перегрузки максимальные — 48
 Перегрузки нарастание — 48
 Перегрузок распределение — 48, 50
 Период волн — 247
 Период колебаний — 4, 247
 Периодические колебания — 8
 Периодические колебания уровня — 264
 Пик сопротивления — 67, 73, 74, 78
 Плавание — 51, 61, 75
 Плазовые координаты — 121, 133, 137, 141, 145, 149, 153, 157, 161, 165, 169, 173, 177, 181, 185
 Пластинок конечной ширины (движение) — 21
 Пловучесть — 63, 71, 198
 Плоские и продольно-изогнутые пластины — 120
 Плоские профили — 91
 Плоскокилеватый профиль — 88, 120
 Плоскопараллельное движение жидкости — 17
 Площадь поверхности удара — 36
 Площадка редана — 8
 Площадки на конце кормы — 129
 Поведение моделей — 127
 Поверхностные волны — 263
 Поверхность удара — 33, 35, 36, 38
 Погружение днища — 34
 Погружение скулы — 38, 43
 Подкрыльные поплавки — 61, 68
 Поддерживающие поплавки — 68—71

Подрыв — 225
 Подсасывающая сила — 15
 Подсос (у редана) — 87
 Подъем скулы — 43
 Полетные испытания — 256
 Полная длина — 123
 Полная гидродинамическая сила — 4
 Полуширота — 123
 Поляра гидросамолета — 224
 Поляра гидросамолета при разбеге — 223
 Поляра остойчивости — 57, 215, 216
 Поперечная качка — 245
 Поперечная остойчивость — 61, 66, 67, 75, 209, 212, 214, 256
 Поперечные колебания — 88
 Поперечный метацентр — 209
 Поперечный метацентрический радиус — 209, 210
 Поплавки несущие — 61, 70, 71
 Поплавки поддерживающие — 61, 68—71
 Поплавки подкрыльные — 61, 68
 Посадка — 7, 10, 32, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 63, 66, 69, 90
 Посадочные качества профилей — 39—41
 Посадочных характеристик получения методы — 257
 Посадочный удар — 8, 36, 71
 Поток вблизи глиссирующей поверхности — 10
 Поперечная диаграмма Рида — 214
 Поперечная метацентрическая высота — 209
 Поплавковый гидросамолет — 7, 85
 Поступательные волны — 263
 Правила моделирования — 51
 Предвзлетный режим — 76, 77
 Предвзлетная скорость — 73
 Предельная скорость ветра — 214, 215
 Предельный динамический угол крена — 215
 Предельный для отрыва вес гидросамолета — 234, 235
 Предельный конструктивный угол крена — 214
 Предельный статический угол крена — 214
 Прибойные волны — 265
 Приливные волны — 263, 264
 Присоединенная инерция — 30, 32, 33
 Присоединенная масса — 30, 35, 43, 45, 248
 Присоединенный момент инерции воды — 249
 Присоединенный момент инерции воздуха — 250
 Пробег — 63, 225, 231, 234
 Прогиб скулы — 43
 Продольная диаграмма Рида — 206
 Продольная качка — 245
 Продольная метацентрическая высота — 205
 Продольная остойчивость — 9, 205, 208
 Продольная устойчивость — 88, 241
 Продольные затухающие колебания — 256
 Продольные колебания — 254
 Продольный метацентр — 205
 Продольный метацентрический радиус — 205
 Продольный профиль (форма батоксов) — 125
 Продольный профиль редана — 87
 Профиль днища — 86
 Профили плоскокилеватые — 121
 Профили со скуловыми накладками — 91
 Профили с цилиндрическими тоннелями — 91 120



Р

Рабочая площадка днища — 88
Разбег — 7, 56, 63, 67, 75, 89, 120, 222, 224, 225, 226, 231, 233, 235, 236, 237
Развал бортов — 89
Разнос поплавков — 66, 68
Распределение давления по днищу — 35, 45, 11
Расстояние между реданами — 80
Редан второй — 87, 88
Редан — высота — 87, 125
Режим глиссирования — 7, 77, 87
Режим максимума сопротивления „горб“ — 55
Режим пика сопротивления — 67
Рулежка — 69, 254
Рыбины — 123
Рысканье — 75
Рыскливость — 256

С

Свободный дифферент — 56
Свободный дрейф — 9, 257
Сейши — 264
Скорость буксирования — 55, 121
Скорость буксировочной тележки — 55
Скорость волны — 268, 274
Скорость волн групповая — 267
Скорость обтекания — 34
Скорость отрыва — 55, 73, 225
Скорость погружения — 34
Скорость распространения поверхности удара — 34
Скула — 67, 75, 88, 123
Скуловая линия — 123
Скуловые накладки — 42, 121
Смоченная длина — 11, 13, 24, 28, 52
Смоченная поверхность — 4, 14, 18, 34
Собственные колебания — 246
Собственные частоты — 43
Соленость — 262
Сопротивление брызгообразования — 20
Сопротивление трения — 11, 28, 73
Статическая остойчивость — 67, 75, 202
Статическое плавание — 7
Статическая упорная ватерлиния — 207
Строевая по ватерлиниям — 199
Строевая по шпангоутам — 198
Струйное течение — 15, 18

Т

Теория жесткого удара — 43
Теория пограничного слоя — 26
Тоннель — 125
Трение плоских пластин — 26
Трохоида — 265, 266
Трохоидальные волны — 265, 266
Трохоидальная теория — 265
Турбулентный пограничный слой — 26
Тяга винта — 4, 61, 221, 222, 254

У

Угол атаки — 4, 12, 14, 66
Угол деградации стабилизатора — 237
Угол дифферента — 4, 74, 75, 80, 85, 86, 87, 88, 89, 129, 130, 225, 226, 260
Угол дифферента наиболее выгодный — 74
Угол наклона — 8, 197, 215
Углы отклонения рулей высоты — 237
Угол отклонения щитков-закрылков — 236
Угол продольной килеватости кормовой части — 89, 125
Угол продольной килеватости межреданной части — 88, 89, 125

Угол установки крыла — 88, 90, 235
Угол хода — 56
Удар — 10, 30
Удар (амортизация) — 86
Удар (влияние упругости днища) — 43
Удар о воду — 30
Удара границы — 36
Удара жесткого теория — 43
Удар при наличии и вертикальной и горизонтальной скорости — 42
Удар посадочный — 8, 36, 71
Удар (сила) — 34, 35, 36, 37, 38, 42, 43, 45, 50
Удар твердого тела о воду — 32
Удар упругого тела о воду — 43
Удар эксцентричный — 36, 43, 45, 50
Упорная ватерлиния — 207
Усилия на ручке управления — 237
Устойчивое глиссирование — 241
Устойчивость гидросамолета — 242
Устойчивость гидросамолета при взлете — 241
Устойчивость курса — 69
Устойчивость моделей — 243
Устойчивость продольная — 88, 241

Ф

Фазы волнообразования — 269
Формы поплавков — 71
Форма редана — 87
Форштевень — 88, 125, 128

Х

Ход на редане — 7

Ц

Центр величины — 4, 198
Центр величины (абсциссы) — 202
Центр величины (ординаты) — 200
Центр давления — 4, 19
Центр инерции системы масс — 43
Центр тяжести гидросамолета — 4, 89
Центральный удар — 36, 37
Центровка гидросамолета — 89, 225
Центровка моделей — 56
Цилиндрическая вставка — 87, 125,

Ч

Чертеж лодки — 123
Число Рейнольдса — 4, 26, 28, 52, 53
Число Фруда — 4, 11, 16, 24, 52

Ш

Шероховатость — 29
Шероховатость модели — 52
Шероховатость поверхности — 28
Ширина днища — 36, 37
Ширина лодки (поплавка) — 4, 77, 83, 125
Ширина модели — 56
Шкала Бофорта — 270
Шпангоут — 123

Э

Элементы волн — 270, 272
Эллипс начальной остойчивости — 204
Эксцентричный удар — 36, 43, 45, 50
Эффективный угол атаки — 22

Я

Явления резонанса при качке гидросамолетов — 246

ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр</i>
Основные обозначения	4
Основные сведения по теоретической и экспериментальной гидромеханике гидросамолета	
Введение	7
Теория глиссирования	10
Конечные углы атаки	12
Весьма малые углы атаки. Аналогия с крылом	14
Учет весомости воды. Плоская задача	20
Учет конечной ширины	21
Трение плоских пластин	26
Влияние шероховатости поверхности на сопротивление	28
Удар о воду	30
Присоединенная инерция	30
Присоединенные массы для некоторых тел	31
Двухразмерные тела для плоского движения	31
Трехразмерные тела, погруженные полностью	31
Тела, погруженные наполовину и плавающие на поверхности жидкости	31
Изменение присоединенных масс в зависимости от близости твердых стенок и дна	32
Удар твердого тела о воду	32
Вертикальное погружение твердого тела в воду	33
Расчет посадочного удара	36
Формулы для определения силы удара	37
Удар при наличии и вертикальной и горизонтальной скорости	42
Удар упругого тела о воду	43
Влияние упругости днища на силу удара	43
Влияние упругости конструкции на силу удара	43
Данные о действительной посадке полноразмерного гидросамолета	45
Экспериментальные данные по определению давлений на днище	45
Исследование перегрузок	48
Эксперимент в опытовых бассейнах. Масштабный эффект	51
Правила моделирования и пересчета без учета влияния вязкости	51
Масштабный эффект	52
Выбор масштаба модели	55
Методика буксировочных испытаний	55
Методика гидростатических испытаний	57
Материалы к выбору схемы гидросамолета	
Материалы по гидростатике гидросамолета	61
Пловучесть	63
Остойчивость поперечная и продольная	63
Двухлодочные и двухпоплавковые гидросамолеты	66
Летающая лодка	66
Жабры	66
Поддерживающие поплавки	68
Несущие поплавки	70
Сравнение характеристик различных органов поперечной остойчивости	70
Непотопляемость	71
Гидродинамические характеристики обводов корпусов гидросамолетов	72
Процесс разбега гидросамолета	75
Влияние основных геометрических параметров корпуса на его гидродинамические характеристики	77
Ширина корпуса	77
Длина корпуса	78

Высота корпуса	86
Поперечный профиль днища в сечении первого редана	86
Продольный профиль носовой части	86
Поперечный и продольный профили рабочей площадки второго редана	87
Высота реданов и форма их в плане	87
Волнорез	88
Междеданная часть	88
Угол продольной килеватости междеданной части	88
Кормовые образования, борта и палуба	89
Центровка гидросамолета	89
Угол установки крыла	90
Характеристики глиссирования профилей мидельшпангоутов	91
Атлас моделей гидросамолетов	121
Теоретический чертеж и обозначения основных элементов лодки или поплавок гидросамолета	123
Типы обводов	125
Модели летающих лодок	125
Модели двухпоплавковых гидросамолетов	127
Модели однопоплавковых гидросамолетов	127
Гидродинамические характеристики семейств обводов. Поведение моделей	127
Атлас	131
Таблицы	188
Гидростатический и гидродинамический расчеты гидросамолета	
Гидростатический расчет гидросамолета	197
Система координат. Определения	197
Определение координат ц. в. при помощи строевых по шпангоутам и ватерлиниям	199
Определение грузового размера	200
Определение ординаты ц. в. при помощи грузового размера	200
Построение масштаба Бонжана	200
Определение ватерлиний, отсекающих заданное водоизмещение	201
Вычисление абсциссы ц. в. при помощи масштаба Бонжана	202
Остойчивость	202
Начальная остойчивость	202
Метацентрические высоты	205
Продольная остойчивость	205
Вычисление продольной метацентрической высоты	205
Построение продольной диаграммы Рида при помощи масштаба Бонжана	206
Определение грузовой и упорной ватерлиний	207
Влияние жидких грузов на продольную остойчивость	208
Влияние изменения полетного веса гидросамолета на продольную остойчивость	208
Поперечная остойчивость	209
Вычисление поперечной метацентрической высоты гидросамолета	209
Вычисление поперечной метацентрической высоты лодки с поплавками	209
Вычисление поперечной метацентрической высоты двухпоплавкового гидросамолета	210
Построение поперечной диаграммы Рида для различных типов гидросамолетов	210
Расчет поперечной остойчивости гидросамолета по методу Дарньи	212
Влияние жидких грузов на поперечную остойчивость	214
Влияние изменения веса гидросамолета на его поперечную остойчивость	214
Расчет поперечной остойчивости гидросамолета при ветре и на волне	214
Поляра остойчивости	215
Поверочный расчет непотопляемости	216
Поверочный расчет непотопляемости летающей лодки	216
Поверочный расчет непотопляемости двухпоплавкового гидросамолета	217
Гидродинамический расчет гидросамолета	220
Дифференциальные уравнения движения	220
Расчет тяги винтов при разбеге	222
Поляра гидросамолета при разбеге	223
Определение аэродинамической подъемной силы и лобового сопротивления	223
Учет влияния близости водной поверхности на поляру гидросамолета	223
Влияние на поляру гидросамолета обдувки от винтов	224
Расчет гидродинамического сопротивления	225
Допущения при расчете гидродинамического сопротивления	225
Расчет гидродинамического сопротивления и углов дифферента гидросамолета при разбеге	225
Расчет времени и длины разбега и пробега гидросамолета	231
Расчет времени и длины разбега путем непосредственного интегрирования уравнений разбега	231

Расчет времени и длины разбега методом Маделунга	232
Приближенная формула Вуда	233
Расчет времени и длины пробега	234
Расчет предельного для отрыва веса гидросамолета	234
Влияние различных факторов на разбег гидросамолета	235
Выбор наиболее выгодного угла установки крыла относительно строительной горизонтальной лодки	235
Выбор наиболее выгодного угла отклонения щитков-закрылков	236
Влияние ветра на разбег	236
Поверочный расчет балансировки и управляемости гидросамолета при разбеге	237

Устойчивость при глиссировании. Качка

Продольная устойчивость гидросамолета при глиссировании	241
Качка гидросамолета	244
Качка на тихой воде	245
Качка на волне	246
Качка движущегося гидросамолета на волне	247
Расчет периода колебаний	247

Испытания гидросамолета. Сведения о морских волнах

Испытания гидросамолета	253
Заводские испытания опытных гидросамолетов	253
Подготовка гидросамолета к первому взлету	253
Береговые осмотры и испытания	253
Испытания и осмотр на якоре	254
Рулежки и буксировка	254
Первый вылет	255
Доводка гидросамолета	256
Полетные испытания	256
Методика производства морских испытаний	257
Определение характеристик взлета и посадки	257
Определение колебаний гидросамолета при плавании и на ходу	261
Определение циркуляций гидросамолета на воде	262
Сведения о морских волнах	262
Общие сведения о морской воде	262
Классификация волн	263
Поверхностные волны	263
Приливные волны	264
Волны приливного типа. Одиночные волны	264
Трохоидальные волны	265
Волны на мелководьи	268
Ветровые волны	269
Влияние уменьшения глубины на элементы волн	270
Влияние на элементы волн ширины бассейна	270
Размеры ветровых волн по результатам наблюдений	270
Определение элементов волны	272
Замер элементов волны с корабля	272
Замер элементов волны с берега	272
Предметный указатель	274