

0, 6.7
196

TALLINNA POLÜTEHNILISE
INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

СЕРИЯ А

№ 196

О. Д. БУССЕЛЬ

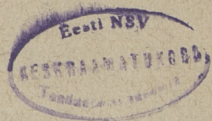
**СЪЕМКА ТЕОРЕТИЧЕСКОГО
ЧЕРТЕЖА СУДНА
С ПОМОЩЬЮ ТЕОДОЛИТА**

ТАЛЛИН 1962

О. Д. БУССЕЛЬ

СЪЕМКА ТЕОРЕТИЧЕСКОГО
ЧЕРТЕЖА СУДНА
С ПОМОЩЬЮ ТЕОДОЛИТА

Ep 4497



Съемка координат обводов корпуса судна производится различными методами как при постановке судна в док (с помощью реек и шергений, засечками из двух точек, фотографированием [1], [3], [4]), так и наплаву судна (обмерами обводов шпангоутов изнутри судна или снаружи с помощью водолазов [2]).

Опубликован метод использования теодолита для снятия внутренних обводов судна [5], [6].

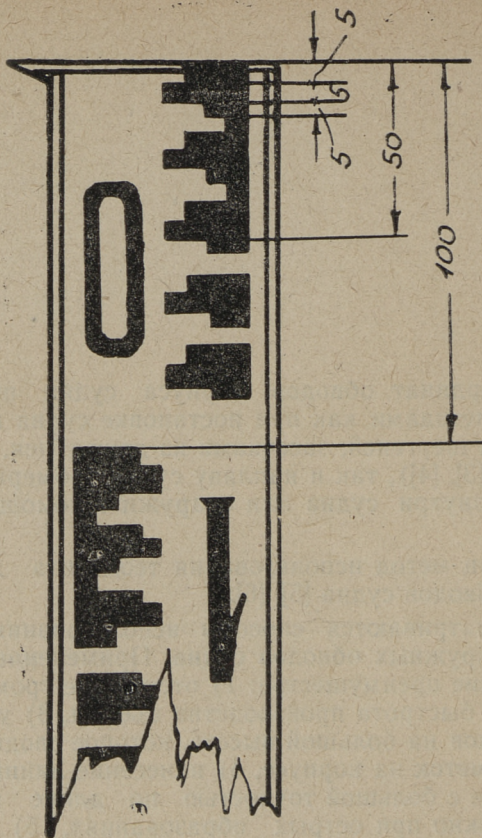
Ниже рассматриваются способы использования теодолита для снятия наружных обводов судна. Применение теодолита дает следующие преимущества: 1) отсутствие громоздкого инструмента, 2) быстрота производства съемки, 3) удобство работы съемщиков на большой высоте, которое сводится лишь к нанесению отметок на корпусе, 4) нанесение линий шпангоутов на корпусе с большой точностью по длине ($1,5 \div 2$ мм), что очень важно при острых образованиях, 5) крен дока, имеющий большое влияние на результаты съемки способами, связанными с применением отвесов и ватерпасов, не влияет на съемку предлагаемым способом.

Для выполнения работы по съемке теоретического чертежа предлагаемым методом необходимо иметь: 1) теодолит с точностью верньера $1 \div 30''$; 2) рейки длиной 0,5 м, 1 м, 2 м (фиг. 1); 3) два отвеса; 4) отметчик для нанесения меловых засечек на корпусе судна; 5) рулетку.

Съемка теоретического чертежа судна при помощи теодолита может быть произведена следующими способами:

1-й способ: съемка равноотстоящих шпангоутов.

Прежде всего устанавливается теодолит на расстоянии около 3 м от наибольшей ширины судна. С помощью рулетки замеряется расстояние от точки установки теодолита до диаметральной плоскости судна, положение которой определяется как половины ширины киля. На таком же расстоянии от Д П в корме судна наносится вторая точка, на которую наводится



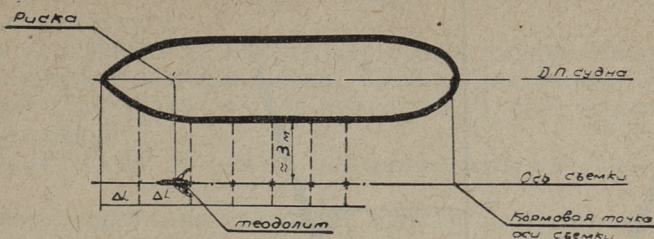
Фиг. 1. Рейка

теодолит и закрепляются винты лимба. Эти две точки установки теодолита определяют ось съемки.

Берется отсчет под углом 90° к оси съемки и по нитям теодолита на корпусе судна на киле наносится риска, определяющая положение оси инструмента по длине судна.

Для нанесения равноотстоящих шпангоутов нужно произвести разбивку оси съемки на шпации. Для этого с помощью отвесов определяют положения носового и кормового перпендикуляра по следам ватерлинии на штевнях. Измерив рулеткой расстояние от носового перпендикуляра до риски, ранее вынесенной на киль, получают положение теодолита по длине судна. Откладывая такое же расстояние вдоль оси съемки в

нос от места установки теодолита, получают положение носового перпендикуляра на оси съемки (см. фиг. 2).



Фиг. 2. Схема размещения теодолита на оси съемки

Аналогично отмечается положение кормового перпендикуляра на оси съемки.

Расстояние между полученными точками на оси съемки делят на необходимое число равных частей, соответственно предполагаемому количеству снимаемых теоретических шпангоутов. Точки деления отмечают мелом или краской.

В дальнейшем теодолит устанавливают в каждую из отмеченных на оси съемки точек.

После установки теодолита в одну из отмеченных точек фиксируют положение шпангоута по длине судна нитями инструмента, причем на поверхности корпуса судна в плоскости шпангоута наносят несколько меловых отметок.

На скуле и на участке двоякой кривизны отметки наносят чаще (через 500—600 мм), в районе прямобортности — реже (через 1000—1500 мм).

Далее определяется возвышение киля относительно оси инструмента. Для этого труба теодолита приводится в горизонтальное положение и по рейке, установленной под килем судна, берется отсчет, дающий возвышение киля над осью инструмента.

Затем устанавливают рейку верхним концом в каждую из отмеченных на шпангоуте точек, причем каждый раз измеряют угол между горизонтом и направлением на снимаемую точку — α и вертикальный отсчет по рейке — a (см. фиг. 3).

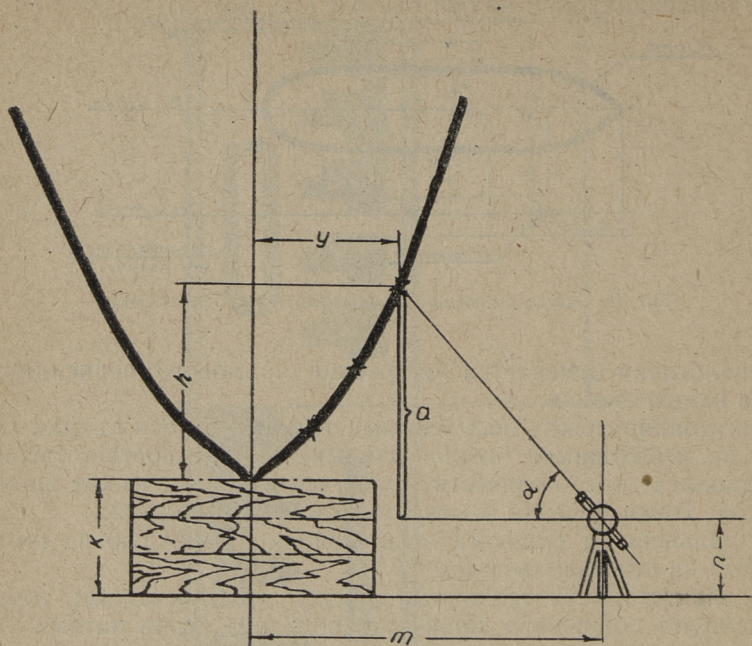
Имея величины a и α , можно определить ординаты шпангоута по выражению (см. фиг. 3):

$$y = m - a \cdot \text{ctg } \alpha,$$

где m — отстояние оси съемки от ДП в m
и соответствующие аппликаты:

$$h = a - b,$$

где b — возвышение киля над осью инструмента в m .



Фиг. 3. Схема расположения теодолита при первом способе съемки

Измерение величин a , b и α производится на каждом из намеченных на оси съемки шпангоутов.

Определение величин ординат и абликат точек шпангоута удобно производить в табличной форме (таблица 1).

Таблица 1

Вычисление ординат и абликат точек шпангоута при первом способе съемки

Шпангоут № Отстоящие оси съемки от ДП: $m = \dots\dots\dots$ м.

Возвышение кия над осью инструмента: $b = K - n = \dots\dots\dots$ м.

№№ Вл	a	α	$\text{ctg } \alpha$	(II). (IV)	$y = m - (V)$	$h = (II) - b$
I	II	III	IV	V	VI	VII

По величинам u и h строят точки шпангоута и вычерчивают кривую шпангоута.

При измерениях на высоте более двух метров нужны были бы громоздкие тяжелые рейки. Поэтому для съемки ординат на высоте более двух метров над килем удобнее использовать второй способ.

Второй способ: съемка произвольных шпангоутов.

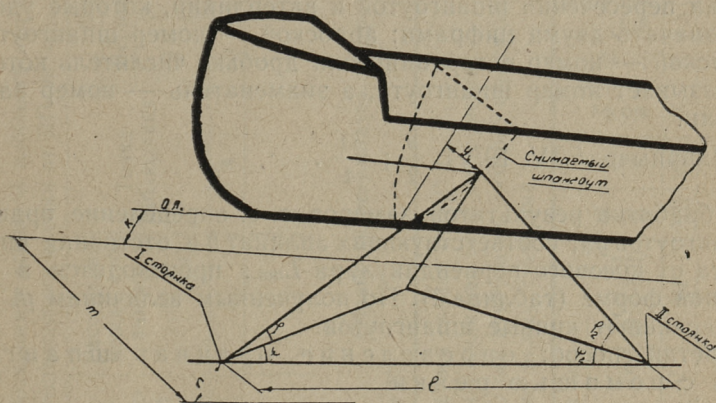
Вышеизложенными способами выносятся ось съемки и определяется положение теодолита по длине судна.

Для съемки выбирается несколько шпангоутов, произвольно расположенных по длине судна. Наиболее удобными будут шпангоуты, имеющие стыки наружных обшивок или заклепочные швы практических шпангоутов.

На выбранном шпангоуте наносят меловые отметки, как указано при описании первого способа.

Направив трубу теодолита на меловую отметку, отсчитывают и заносят в таблицу углы: горизонтальный ψ (между направлением теодолита и осью съемки) и вертикальный φ_1 (между направлением теодолита и горизонтом).

Такие замеры углов производят для всех точек на всех удобных для обозрения шпангоутах (см. фиг. 4). Затем тео-



Фиг. 4. Схема расположения теодолита при втором способе съемки

долит переносят вдоль оси съемки на новую стоянку, из которой также измеряют горизонтальный (ψ_2) и вертикальный (φ_2) углы.

При перестановке теодолита нужно сохранить высоту его оси над стапель-палубой.

Замерив, как указано выше, возвышение киля над осью инструмента b , расстояние между стоянками l и зная величины m , ψ_1 , ψ_2 , φ_1 , φ_2 , можно определить ординату шпангоута y_h при точке, для которой измерены углы и возвышение этой точки над килем — h по формулам:

$$y_h = m - \frac{l \cdot \sin \psi_1 \cdot \sin \psi_2}{\sin (\psi_1 + \psi_2)},$$

$$h = \frac{l \cdot \sin \psi_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1}{\sin (\psi_1 + \psi_2)} - b$$

или

$$h = \frac{l \cdot \sin \psi_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2}{\sin (\psi_1 + \psi_2)} - b.$$

Отстояние шпангоута от носового перпендикуляра определяется по формуле:

$$L_{\text{шп}} = L_{\text{пр}} + \frac{l \sin \psi_2 \cdot \cos \psi_1}{\sin (\psi_1 + \psi_2)},$$

где $L_{\text{пр}}$ — отстояние оси прибора от носового перпендикуляра.

Запись результатов замеров производится в табличной форме (таблица 2). В графу «точка наблюдения» вносятся точки пересечения шпангоутов и ватерлиний, которые удобно обозначать двумя цифрами: арабской — номер шпангоута, а римской — номер ватерлинии или дробью, числитель которой показывает номер шпангоута, а знаменатель — номер ватерлинии.

Например: 5/IV, 19/VI; $\frac{9}{2}$; $\frac{11}{4}$.

Обработка результатов замеров, т. е. определение ординат шпангоутов y_h , соответствующих аппликат h и отстояния шпангоута от носового перпендикуляра $L_{\text{шп}}$, производится в табличной форме (таблица 3). По полученным величинам y_h и h вычерчивают кривые шпангоутов.

Третий способ: определение ординат шпангоутов с помощью рейки.

Вынесение оси съемки, определение положения теодолита по длине судна и возвышения киля над осью теодолита (b), выбор снимаемых шпангоутов и нанесение меловых отметок производится как указано выше.

Съемка производится с одной стоянки теодолита (фиг. 5).

Измеряют углы: горизонтальный ψ , вертикальный φ и угол α между базой рейки и горизонтом. Замеряется также база рейки — a . Удобно брать за « a » всю длину рейки. В некоторых случаях может сказаться, что часть рейки будет закрыта

Таблица 2

Запись результатов замеров при втором способе съемки

№№ стоянок	Отстояние прибора от носового перпендикуляра $L_{пр}$ (м)	Расстояние между стоянками l (м)	Точка наблюдения	Горизонтальный угол ψ			Вертикальный угол φ				
				Верньеры		Средний отсчет	Угол ψ	Верньеры		Средний отсчет	Угол φ
				I	II			I	II		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Возвышение основной плоскости над осью инструмента: $b = \dots\dots\dots$ м.
 Отстояние оси съемки от ДП: $m = \dots\dots\dots$ м.

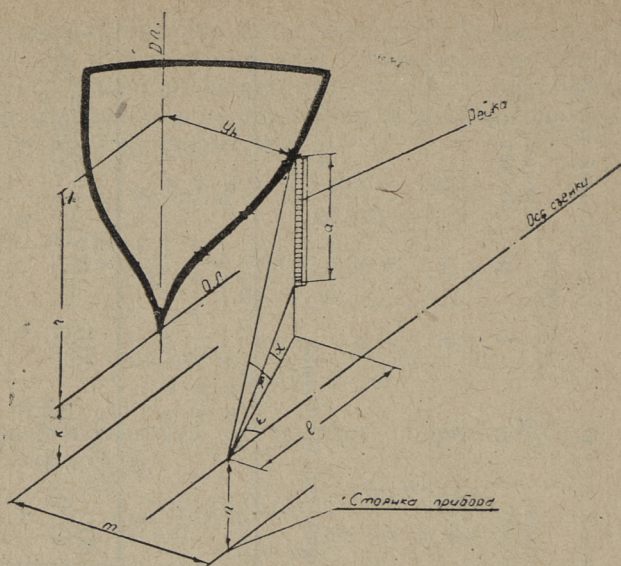
Таблица 3

Обработка результатов замеров при втором способе съемки

Шпангоут №

Отстояние оси съемки от ДП м $m = \dots\dots\dots$
 Возвышение кия над осью инструмента м $b = \dots\dots\dots$
 Отстояние оси прибора от носового перпендикуляра м $L_{пр} = \dots\dots\dots$
 Расстояние между стоянками м $l = \dots\dots\dots$

№№ Вп	У г л ы						$L_{ин} = L_{пр} + (XVII) + (XVIII)$										
	ψ_1	ψ_2	φ_1	φ_2	$\psi_1 + \psi_2$ (II)+(III)	$\varphi_1 + \varphi_2$ (IV)+(V)											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII



Фиг. 5. Схема расположения теодолита при третьем способе съемки

посторонними предметами. Тогда замеряется видимая часть рейки, удобная для дальнейших вычислений.

Запись замеров производится в табличной форме (таблица 4).

При проверенном теодолите можно в таблицу вносить сразу величины углов ψ , φ , α , не заполняя вспомогательных граф.

Зная величины ψ , φ , α , a , можно определить ординату шпангоута y_h при точке, для которой измерены углы, возвышение этой точки над килем h и расстояние шпангоута от носового перпендикуляра по формулам:

$$y_h = m - \frac{a \cdot \cos \alpha \cdot \cos \varphi \cdot \sin \psi}{\sin (\varphi - \alpha)},$$

$$h = \frac{a \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varphi}{\sin (\varphi - \alpha)} - b,$$

$$L_{\text{шп}} = L_{\text{нр}} + l,$$

причем l определяется как среднее арифметическое из величин l_i , вычисленных для двух-трех точек данного шпангоута по формуле:

$$l_i = \frac{a \cdot \cos \alpha \cdot \cos \varphi \cdot \cos \psi}{\sin (\varphi - \alpha)},$$

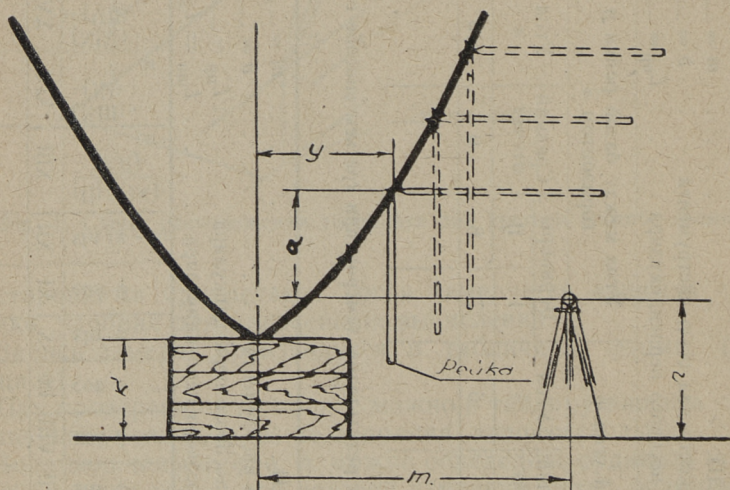
Вычисления производятся в табличной форме (таблица 5).

По величинам y_n и h строят кривые шпангоутов.

Четвертый способ: Использование теодолита при съемке теоретического чертежа рейками.

Нанесение точек пересечения шпангоутов с ватерлиниями производится как указано в первом способе. Ось съемки при этом способе переносится ближе к судну — на расстояние около 1 м от борта.

Теодолит устанавливается на оси съемки за носовой оконечностью. Рейка острым концом устанавливается в отметку на корпусе, приводится по нитям теодолита в горизонтальное положение и при покачивании рейки берется минимальный отсчет (фиг. 6).



Фиг. 6. Схема расположения теодолита и реек при четвертом способе съемки

Ординаты шпангоутов определяются как разности соответствующих отсчетов по рейке и отстоянии оси съемки от ДП.

Апликаты точек измеряются аналогичным способом, причем рейка устанавливается вертикально в точку на корпусе, а зрительная труба теодолита приводится в горизонтальное положение.

Запись результатов измерений и их обработка производится в форме таблиц (таблицы 6 и 7).

Съемка контуров штевной может производиться по второму или третьему способам.

При пользовании любым из указанных способов особое внимание должно быть уделено точности вынесения оси

Таблица 6

Определение ординат при четвертом способе съемки

Шпангоут №

I	№№ ватерлиний	0	1	2
II	Отстояние оси съемки от ДП — m (m)				
III	Отсчет по горизонтальной рейке (m)				
IV	Ордината шпангоута $Y_1 = II - III$ (m)				

Таблица 7

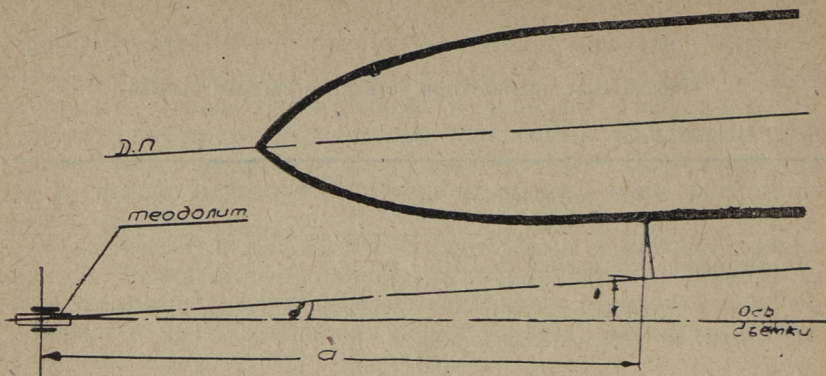
Определение аппликат при четвертом способе съемки

Шпангоут №

I	№№ ватерлиний	0	1	2	
II	Отсчет по вертикальной рейке (m)				
III	Возвышение оси инструмента над килем ($n - k$) (m)				
IV	Апликата точки $h = II + III$ (m)				

съемки, которая должна быть параллельна ДП судна. Для этого рекомендуется произвести два контрольных замера от оси съемки до ДП судна по направлению, данному теодолитом (90° к оси съемки). Если такая проверка произведена в конце измерений и обнаружена непараллельность оси съемки и ДП, то, при обработке замеров, следует внести поправку к ординатам шпангоутов μ на величину угла δ (см. фиг. 7).

При пользовании теодолитом для снятия ординат теоретического чертежа следует помнить, что перед пользованием прибор должен быть проверен, причем особо тщательно должна быть проверена горизонтальность визирной оси при совмещенных нулях вертикального круга и алидады. Проверка производится общепринятыми способами.



Фиг. 7. Схема для определения поправок при непараллельности оси съемки и ДП

Установку теодолита в плавучем доке следует производить по рейке, во избежание погрешностей от крена и дифферента дока.

Перед началом работ нужно точно определить крен судна. При крене на тот или иной борт до $\frac{1^\circ}{4}$ поправкой к ординатам можно пренебречь. При значительном крене, порядка 1° , следует съемку производить с обоих бортов, а затем, по построенному наклонному корпусу, строить другие проекции чертежа. Однако, когда крен лежит в пределах $\frac{1^\circ}{4} - 1^\circ$, нет необходимости производить съемку с обоих бортов, а следует вычислить поправку к полученным ординатам.

Ордината шпангоута при наличии незначительного крена судна определится по формуле (см. фиг. 8):

$$y = (y_\theta - a) \cdot \cos \theta,$$

ввиду малости θ : $\cos \theta \approx 1$,

$$\text{tg } \theta \approx \theta,$$

$$a = h_\theta \cdot \text{tg } \theta \approx h_\theta \cdot \theta,$$

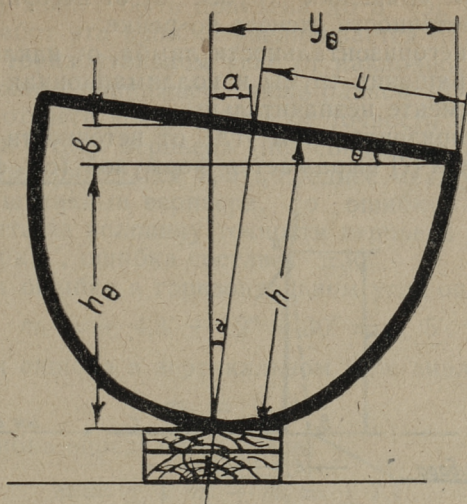
тогда $y = y_\theta - h_\theta \cdot \theta$.

Апликата рассматриваемой точки шпангоута будет:

$$h = (h_\theta + c) \cdot \cos \theta,$$

причем $c = y_\theta \cdot \text{tg } \theta \approx y_\theta \cdot \theta$,

тогда $h = h_\theta + y_\theta \cdot \theta$.



Фиг. 8. Схема для определения поправок при небольшом крене судна

Вычисление ординат шпангоута y и соответствующих аппликат h производится в табличной форме (таблица 8).

Таблица 8

Определение ординат и аппликат точек шпангоута при небольшом крене судна

Шпангоут №.....

Угол крена судна : $\theta = \dots\dots\dots$

№№ Вл.	y_{θ} (м)	h_{θ} (м)	(II). θ (м)	(III). θ (м)	$y = (II) - (V)$ (м)	$h = (III) + (IV)$ (м)
I	II	III	IV	V	VI	VII

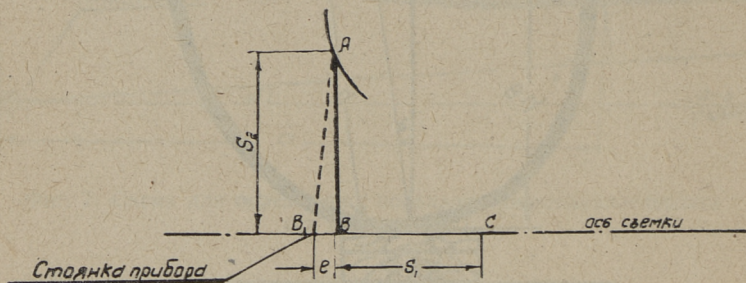
При пользовании теодолитом для снятия ординат могут получиться следующие ошибки:

1) от неточного центрирования теодолита, 2) от неточности отсчета угла, 3) от наклонности основной (вертикальной) оси

теодолита, 4) коллимационная ошибка, 5) от наклона горизонтальной оси вращения трубы, 6) от негоризонтальности лимба, 7) от неточности отсчета по рейке.

Ошибки от негоризонтальности лимба, от наклона горизонтальной оси вращения трубы и коллимационная при проверенном инструменте незначительны.

Ошибка в горизонтальном угле от неточности центрирования инструмента [7] выражается формулой (см. фиг. 9):



Фиг. 9. Схема к определению ошибки в угле от неточности центрирования теодолита

$$\epsilon = \pm \rho e \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 - 2 S_1 \cdot S_2 \cdot \cos B}}{S_1 \cdot S_2},$$

где:

$$\rho = 3438',$$

e — эксцентриситет теодолита,
 $S_1; S_2$ — стороны измеряемого угла,
 B — измеряемый угол.

С увеличением измеряемого угла B возрастает ϵ . Максимальной величина ϵ будет при $B = 90^\circ$ (измерение углов, больших 90° , не имеет места):

$$\epsilon_{\max} = \pm \rho e \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}}{S_1 \cdot S_2}.$$

Эксцентриситет теодолита e обычно не больше 0,003 м.

Принимая для предельного случая сравнительно малые величины S_1 и S_2 (например: $S_1 = 3$ м; $S_2 = 4$ м), определим:

$$\epsilon_{\max} = \pm 3438' \cdot 0,003 \frac{5}{12} = \pm 4,3'.$$

Предельную ошибку определения вертикального угла принимаем такой же величины $\pm 4,3'$.

Ошибка в вертикальном угле от наклонности вертикальной

оси теодолита при тщательных измерениях (с большой затратой времени) может быть доведена до $5''$ [9]. При быстроте съемочных работ эта ошибка увеличивается от $10''$ — $15''$.

Ошибку в горизонтальном угле от наклонности вертикальной оси теодолита принимаем также равной $10''$ — $15''$.

Ошибка в отсчете угла зависит от точности верньера. Т. к. часто ни один штрих верньера не совпадает со штрихами лимба, причем приходится брать среднее между двумя симметричными штрихами верньера, то ошибку отсчета угла можно принять за половину точности верньера [7]. При точности верньера $1'$, ошибка составит $\pm 30''$.

Суммарная ошибка в горизонтальном угле определится:

$$m_{\Gamma} = \pm 4,3' \pm 12'' \pm 30'' = \pm 5'.$$

Суммарная ошибка в вертикальном угле аналогично:

$$m_{\text{в}} = \pm 5'.$$

Общая ошибка определения углов:

$$m = \pm \sqrt{m_{\Gamma}^2 + m_{\text{в}}^2} = \pm 7,1'.$$

Ошибка в ординате шпангоута:

$$\Delta = \pm \frac{m}{\rho} \cdot y = \pm \frac{7,1'}{3438'} \cdot y = \pm 0,00206 \cdot y,$$

т. е. ошибка в ординате шпангоута в предельном случае, при измерении как вертикальных, так и горизонтальных углов (второй способ съемки) составляет около $0,2\%$.

При измерении только вертикальных углов (первый способ съемки) ошибка в ординате будет:

$$\Delta_{\text{в}} = \pm \frac{m_{\text{в}}}{\rho} \cdot y = \pm \frac{5'}{3438'} \cdot y = \pm 0,00146 \cdot y,$$

т. е. менее $0,15\%$.

Ошибка от неточности отсчета по рейке может получиться при съемке 1-м, 3-м и 4-м способами. При первом и третьем способах погрешность отсчета по рейке не превысит 3 мм , что в ординате шпангоута дает незначительную погрешность, которой можно пренебречь. При съемке четвертым способом погрешность в ординате шпангоута зависит только от точности отсчета по рейке, который практически не превышает $2 \div 3 \text{ мм}$.

Приведенный анализ погрешностей показывает, что при любом из указанных способов съемки ошибка в ординатах не превышает точности, достаточной для практических целей.

Следовательно, выбор способа съемки зависит только от удобства применения того или иного из них.

Первый и четвертый способы удобно применять, когда вокруг судна имеются леса, высота борта судна невелика и свободная площадь около борта, по которому ведется съемка, недостаточна для пользования другими способами.

Вторым и третьим способами удобно пользоваться при наличии достаточной свободной площади около замеряемого борта. Эти способы удобны для съемки теоретических чертежей больших судов.

При использовании третьего способа для проверки теоретического чертежа можно для быстроты съемки пренебречь отсчетом по двум верньерам, выбрать произвольные штангоуты и уменьшить количество ватерлиний.

При выборе способов съемки следует учесть, что в некоторых случаях удобна комбинированная съемка, при которой отдельные части корпуса замеряются разными способами в зависимости от доступности.

Применение теодолита для съемки теоретических чертежей судов осуществлено в практике работы заводского конструкторского бюро.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Д. Ковтун. Применение фотографии для съемки с натуры теоретических обводов корпусов судов и гребных винтов. Судпромгиз, 1956.
2. Л. М. Ровнер. Новый способ снятия обводов корпуса корабля на плаву. Журн. «Судостроение» № 10, 1956 г.
3. А. Селиверстов. Снятие в доке очертаний штангоутов корпуса судна. Журн. «Морской флот» № 11, 1949 г.
4. В. А. Первов. Съемка с натуры обводов судна, имеющего конструктивный дифферент. Журн. «Судостроение» № 11, 1959 г.
5. А. А. Гундобин. Некоторые приемы съемки обводов корпуса судна с натуры. Журн. «Судостроение» № 9, 1960 г.
6. В. С. Антоненко. О съемке с натуры обводов корпуса судна с помощью теодолита. Журн. «Судостроение» № 9, 1961 г.
7. М. И. Гусев. Курс маршейдерского дела, часть I. Углетехиздат Министерства Востокугля, 1948.
8. Л. С. Хренов. Пятизначные таблицы тригонометрических функций. Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1949 г.
9. W. Gündel. Trigonometrische Präzisionssenkungsmessungen am Stahlgerüst eines Hangars. «Vermessungstechnik» Nr. 10, 1961.

О. Д. Буссель
СЪЕМКА ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА СУДНА С ПОМОЩЬЮ
ТЕОДОЛИТА

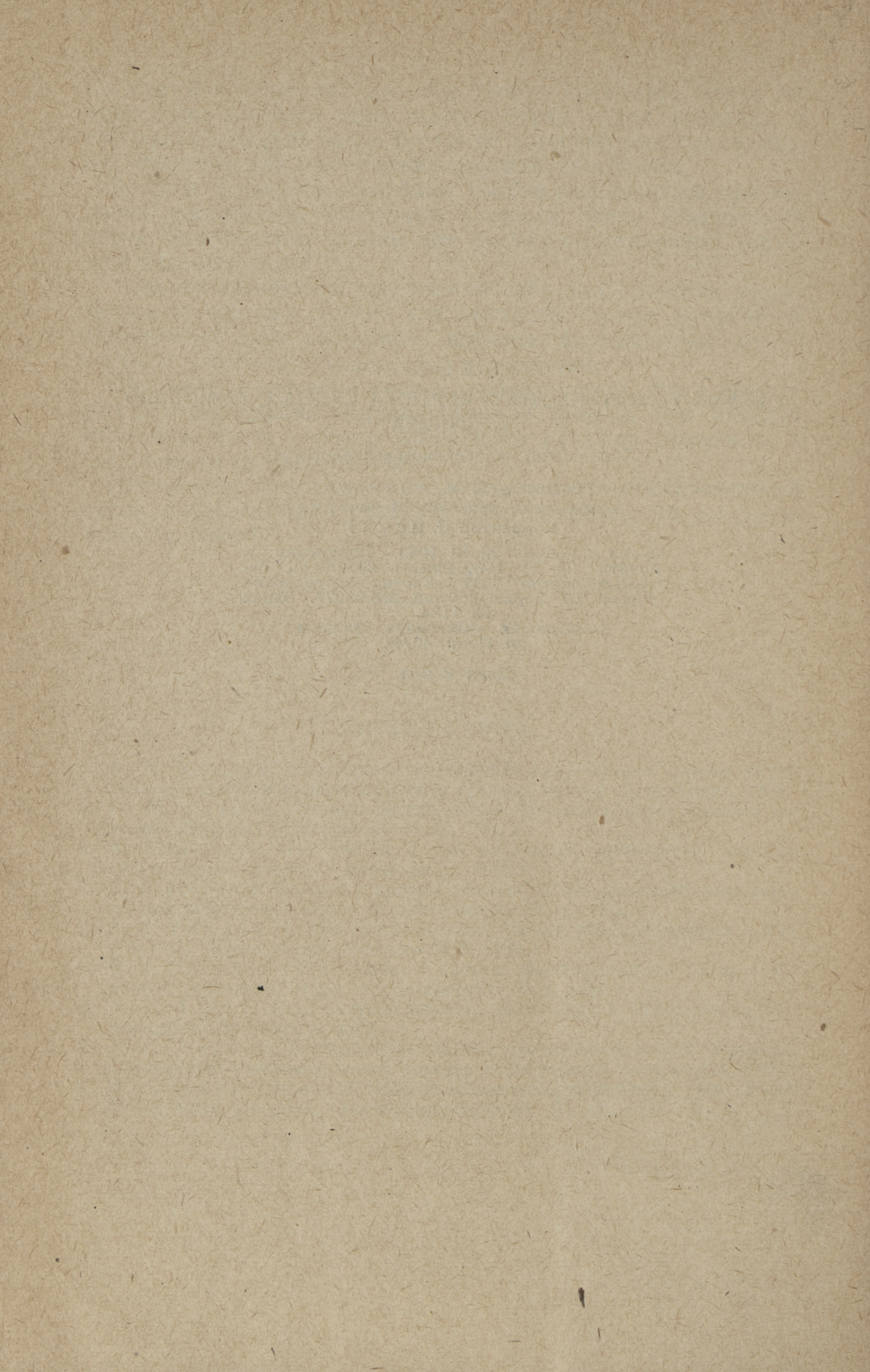
Таллинский политехнический институт

Редактор Д. М. Ананьев
Технический редактор Я. Мыттус
Корректор Н. Исмит

Сдано в набор 26 III 1962. Подписано к
печати 23 VI 1962. Бумага 60×90 ¹/₁₆. Пе-
чатных листов 1,25. Учетно-издательских
листов 0,9. Тираж 600 экз. МВ-03977. Заказ
№ 1134.

Типография «Юхисэлу», Таллин,
ул. Пикк, 40/42.

Цена 6 коп.



2



Цена 6 коп.

