

Планиметр и его применение для обработки индикаторных диаграмм

*Цилиндровую мощность* двигателя определяют по формуле  
$$N=K P_i n \text{ и. л. с.},$$

где  $K$  — постоянная цилиндра;

$P_i$  — среднее индикаторное давление в цилиндре,  $\text{кгс/см}^2$ ,

$n$  — частота вращения коленчатого вала,  $\text{об/мин}$ .

*Среднее индикаторное давление* определяют по формуле

$$P_i=f/ml \text{ кгс/см}^2$$

где  $p$  — площадь индикаторной диаграммы,  $\text{мм}^2$ ;

$m$  — масштаб индикаторной пружины,  $\text{мм/кгс}\cdot\text{см}^{-2}$ ;

$l$  — длина индикаторной диаграммы,  $\text{мм}$ .

Точность определения цилиндрической мощности и среднего индикаторного давления, а следовательно, и правильность регулировки двигателя во многом зависят от точности измерения площади диаграммы. В свою очередь точность измерения площади диаграммы зависит от правильности проверки и регулирования планиметра и методики планиметрирования.

Площадь индикаторных диаграмм измеряют планиметром, а при его отсутствии — графически методом трапеций

Планиметр — прибор, применяемый для определения площадей фигур любой формы и масштаба. На судах применяют отечественные полярные планиметры марки ПП-2К и зарубежные. Отечественные (рис. 1) и зарубежные (рис. 2) планиметры по принципу устройства и действия одинаковы, хотя и имеют некоторые конструктивные различия. Например, польский планиметр имеет приспособление для сброса показаний и установки на нуль счетного барабана, отсчет с барабана и нониуса производится через увеличительную линзу, обводное стекло выполнено также в виде линзы; имеется приспособление для передвижения счетной каретки на обводном рычаге.

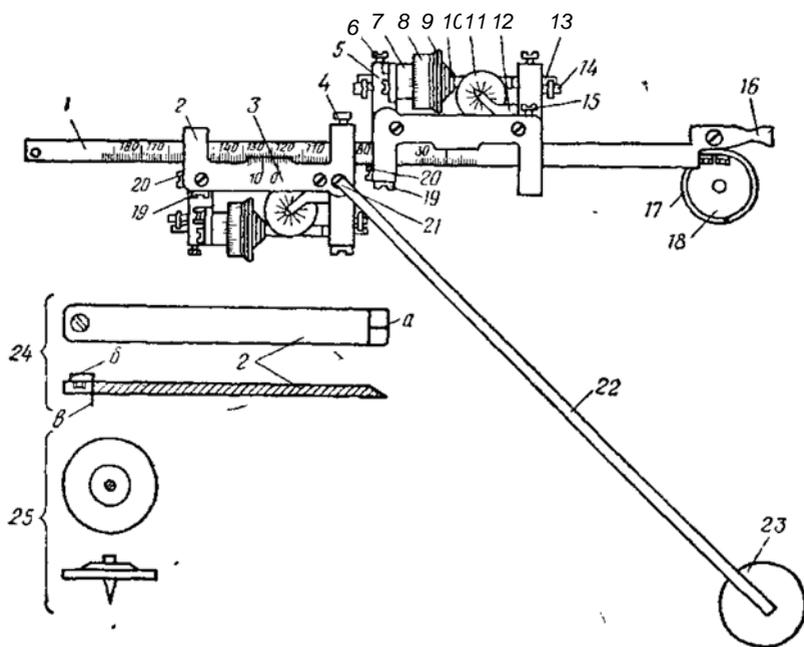


Рис 1. Полярный планиметр марки ПП-2К

*Устройство планиметра.* Планиметр (см. рис. 1) состоит из двух рычагов — полюсного 22 и обводного. На левой стороне обводного рычага находятся две каретки 2 и 5 со счетными механизмами — основным (на каретке 2) и дополнительным (на каретке 5).

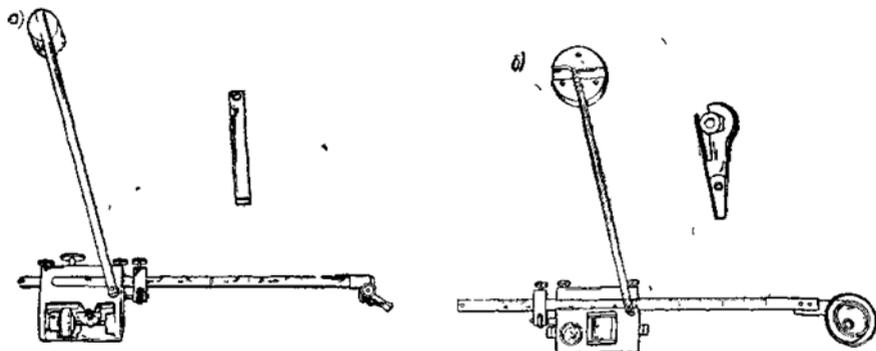


Рис 2. Внешний вид планиметров и поворочных линеек. а—немецкого (ГДР), б—польского марки PL1

Планиметры зарубежных фирм имеют только одну каретку с одним счетным механизмом.

Основной и дополнительный счетные механизмы состоят из горизонтальной оси *10*, на которой укреплен обводной ролик *9*. Со счетным барабаном *8*. Один оборот барабана соответствует (повороту горизонтального счетного диска *11* на одно деление. Счетный барабан *8* разделен на 100 частей и снабжен нониусом *7* (верньером), укрепленным на каретке и позволяющим делать отсчеты с точностью до 0,001 оборота.

Таким образом, отсчет, выраженный в тысячных долях оборота счетного барабана *8*, состоит из четырех цифр, из которых первая отсчитывается по стрелке *12* с горизонтального счетного диска //, вторая и третья — по барабану *8*, четвертая — по нониусу *7*. Отсчет по нониусу берется при совпадении черты деления нониуса с чертой деления барабана.

Каретки *2* и *5* можно передвигать вдоль обводного рычага. Положение кареток фиксируется винтами *4* и *15*. На каретке *2* имеется второй нониус *3* для установки счетного механизма на необходимый масштаб. Вторая каретка *5* при работе с планиметром должна вплотную придвигаться к основной. На втором конце обводного рычага укреплены обводное стекло *18* с точкой посередине для обвода индикаторной диаграммы и шарнирный поводок *16* для удобства передвижения обводного рычага при обводе планиметра по контуру индикаторной диаграммы.

На верхней поверхности обводного рычага нанесена шкала для установки каретки по масштабу, указанному в свидетельстве планиметра. Обычно для планиметрирования индикаторных диаграмм применяется масштаб 1:10000, позволяющий определять площадь непосредственно в  $см^2$  или  $мм^2$ . В этом случае отсчет по счетному диску дает число сотен, по барабану — число десятков и единиц, по нониусу — число десятых долей в  $см^2$ .

Полюсный рычаг *22* с одной стороны соединен с опорным грузом *23*, стоящим на столе. Снизу груз имеет острие, которое является центром вращения рычага. С другой стороны полюсный рычаг имеет стержень с шаровидным концом, который вставляется в углубление в каретке, прижимая счетный барабан к бумаге, и дает возможность счетному механизму передвигаться по определенному закону.

К планиметру прилагаются запасные детали и инструмент: контрольный диск 25, поверочная линейка 24, запасное обводное стекло, лупа, запасная ось полюса и отвертка.

При перемещении точки обводного стекла или штифта планиметра по контуру индикаторной диаграммы обводной ролик катится совершенно свободно. Когда плоскость обводного ролика совпадает с направлением движения, он катится по диаграмме без проскальзывания. При отклонении плоскости ролика от направления движения проскальзывание увеличивается пропорционально углу отклонения. Когда угол равен  $90^\circ$ , ролик перестает вращаться и только скользит по диаграмме.

Если при неподвижном полюсе обвести обводным стеклом замкнутую площадь, то развернутая длина дуги, пройденная счетным барабаном, будет пропорциональна обведенной площади контура. Причем длина дуги будет изменяться в зависимости от расстояния от каретки до обводного стекла. При масштабе 1:10000 поворот счетного барабана на одно деление соответствует площади  $100 \text{ мм}^2$  ( $1 \text{ см}^2$ ).

**Проверка и регулировка планиметра.** Прежде чем пользоваться планиметром, необходимо тщательно протереть все его детали, очистить обводные ролики от смазки, поверить (проверить) и отрегулировать счетные механизмы, после чего каретки надежно закрепить на обводном рычаге. Планиметр проверяют на параллельность оси счетного механизма обводному рычагу и на установку счетного механизма на необходимый масштаб.

Отрегулированный планиметр должен удовлетворять следующим основным требованиям.

Вал счетного механизма 10 (см. рис. 1) должен вращаться на остриях керноштифтов 13 совершенно свободно, без зазора. При свободном вращении обводного ролика 9 зазор между счетным барабаном 8 и нониусом 7 должен быть не более 0,1 мм.

Зазор проверяют щупом или папиросной бумагой. Необходимая регулировка производится керноштифтами 13, концы которых имеют углубления, являющиеся подшипниками для оси 10 барабана 8. Керноштифты перемещают вращением установочных винтов 14. Зазор необходимо регулировать при отпущенных винтах 6 очень осторожно, так как при сильной затяжке одного из винтов 14 ось вала 10 может прийти в негодность.

Торец обводного ролика 9 должен быть перпендикулярен оси 10, которая, в свою очередь, должна быть параллельна оси обводного рычага, точнее, линии, соединяющей обводную точку с проекцией

оси отверстия. Для проверки этого условия пользуется контрольным диском 25 и поверочной линейкой 24, которая на одном конце лицевой стороны имеет скос с рисккой (индексом) *a*, а на другом конце с нижней стороны — острие *в*, являющееся осью вращения, которое сверху прижимается винтом *б*.

Проверку производят следующим образом. Вместо обводного стекла в оправу 17 помещают контрольный диск, острие (которого вставляют в углубление на поверочной линейке. Планиметр устанавливают так, как указано на рис. 3, *а*. Острие линейки должно быть до отказа вколото в стол, на котором производится проверка. Обводный рычаг и поверочная линейка должны располагаться параллельно. Полусный рычаг расположен слева от счетного механизма. Угол между рычагами составляет приблизительно  $100^\circ$ . При работе этот угол не должен быть менее  $30^\circ$ . Такое положение планиметра называется «полус лево».

Отметив положение риски *a* поверочной линейки на бумаге черточкой, и записав показания счетного механизма, производят два обвода обводным рычагом вокруг острия поверочной линейки при помощи обводного поводка. После каждого обвода в момент совпадения риски поверочной линейки с первоначальным ее положением, отмеченным чертой на бумаге, записывают показание счетного механизма.

Не изменяя положения полуса и придерживая его рукой, вынимают

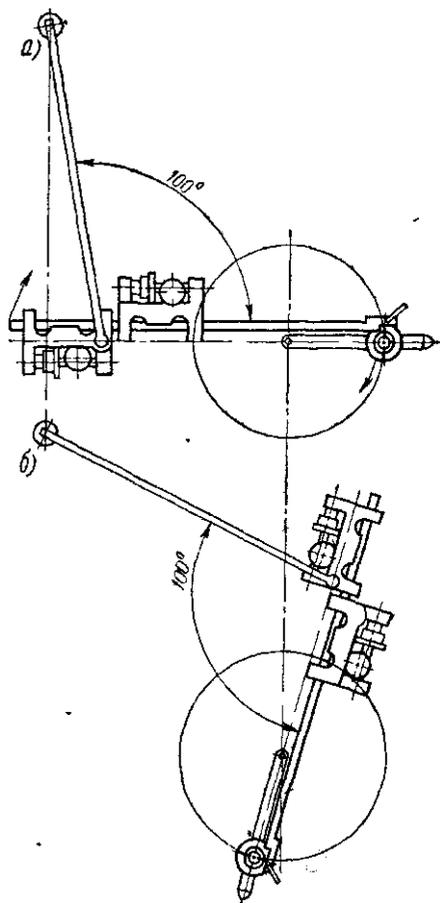


Рис 3 Расположение планиметра для проверки: на соосность  
*а* - при положении «полус лево»  
*б* - при положении «полус право»

стержень полюсного рычага из отверстия 21 (рис. 1) каретки 2 и отводят его в сторону. Не нарушая оси вращения повесой линейки, разворачивают обводный рычаг со счетным механизмом в направлении, указанном стрелками (рис. 3, а), так чтобы полюс 23 (рис. 1) оказался справа от счетного механизма. Стержень полюсного рычага вставляют в отверстие 21 каретки. Обводной рычаг и поверочную линейку устанавливают параллельно. Такое положение

Т а б л и ц а 31

Проверка планиметра на параллельность (пример записи)

Основной счетный механизм		Дополнительный счетный механизм		Основной счетный механизм		Дополнительный счетный механизм	
Отсчеты	Разность отсчетов	Отсчеты	Разность отсчетов	От-счеты	Разность отсчетов	Отсчеты	Разность отсчетов
<i>«Полюс лево»</i>				<i>«Полюс с право»</i>			
4364		4991		1439		3091	
5364	1000	5002	1001	2442	1003	4094	1003
6364	1000	6994	1002	3445	1003	6099	1005

планиметра (рис. 3, б) называется «полюс право». В этом положении угол между рычагами в исходном положении также будет приблизительно равен  $100^\circ$ , при обводе — не менее  $30^\circ$ .

Далее производят два обвода, как и при «полюсе лево», с отсчетами и записями показаний счетных механизмов в начале и в конце каждого обвода. Показание счетных механизмов при проверке планиметра на параллельность записывают в виде таблицы.

Среднее арифметическое значение разности показаний счетного механизма при положении «полюс лево» должно равняться среднему арифметическому значению разности при положении «полюс право» и отличаться не более чем на  $\pm 3$  деления нониуса по каждому счетному механизму. Если это условие не соблюдается, следует произвести регулировку планиметра.

Каждый счетный механизм регулируется отдельно с помощью регулировочного винта 19 (см. рис. 1).

Перед регулировкой стопорные винты 20 отдают. Вращая регулировочный винт, можно изменять угол между осями счетного ролика и обводного рычага.

Направление вращения регулировочного винта выбирают следующим образом. Если разность отсчетов при положении «полюс лево» оказалась меньше, чем при положении «полюс право», то регулировочный винт 19 вывертывают, в противном случае — ввертывают.

Поверку, регулировку и исправления производят в несколько приемов до тех пор, пока расхождение разностей отсчетов при положениях «полус лево» и «полус право» у каждого счетного механизма окажется не более трех делений. По окончании поверки и регулировки регулировочные винты 19 фиксируют стопорными винтами 20, а контрольный диск заменяют обводным стеклом.

Польская инструкция по эксплуатации полярного планиметра PL1 (рис. 2, б), имеющего одну счетную каретку, рекомендует производить поверку на параллельность оси счетного механизма обводному рычагу путем двукратного обвода с помощью поверочной линейки при положениях «полус лево» и «полус право» для длин обводного рычага, обозначенных цифрами «6» и «10». Исходное положение планиметра и поверочной линейки для этой проверки показано на рис. 3, а.

Поверочная линейка 1 (рис. 4, б) фигурным вырезом закрепляется и вращается вокруг оси кольца 3, имеющего снизу три шпильки, которые вкальвают в стол.

Начальное положение планиметра устанавливают следующим образом. Обводное стекло вставляют в отверстие кольца. Угол между рычагами планиметра в этом положении должен составлять 100°. Затем обводной рычаг приподнимают и вставляют обводным стеклом в отверстие 2 на поверочной линейке. Обвод рекомендуется начинать с того места, где счетный барабан меняет направление вращения при вращении поверочной линейки по окружности.

При длине обводного рычага, обозначенной цифрой «6», планиметр обводят два раза с помощью поверочной линейки при положении «полус лево» и получают значение  $N_{r6}$ , а затем обводят при положении «полус право» и получают значение. Разность отсчетов составляет

$$N_{r6} - N_{L6} = f \leq \pm 3$$

Аналогично поступают при длине обводного рычага, обозначенного цифрой «10». В этом случае получают

$$N_{r10} - N_{L10} = f \leq \pm 3$$

Параллельность оси и рычага считается удовлетворительной, если полученная разность

$$f_1 - f_2 \leq \pm 4.$$

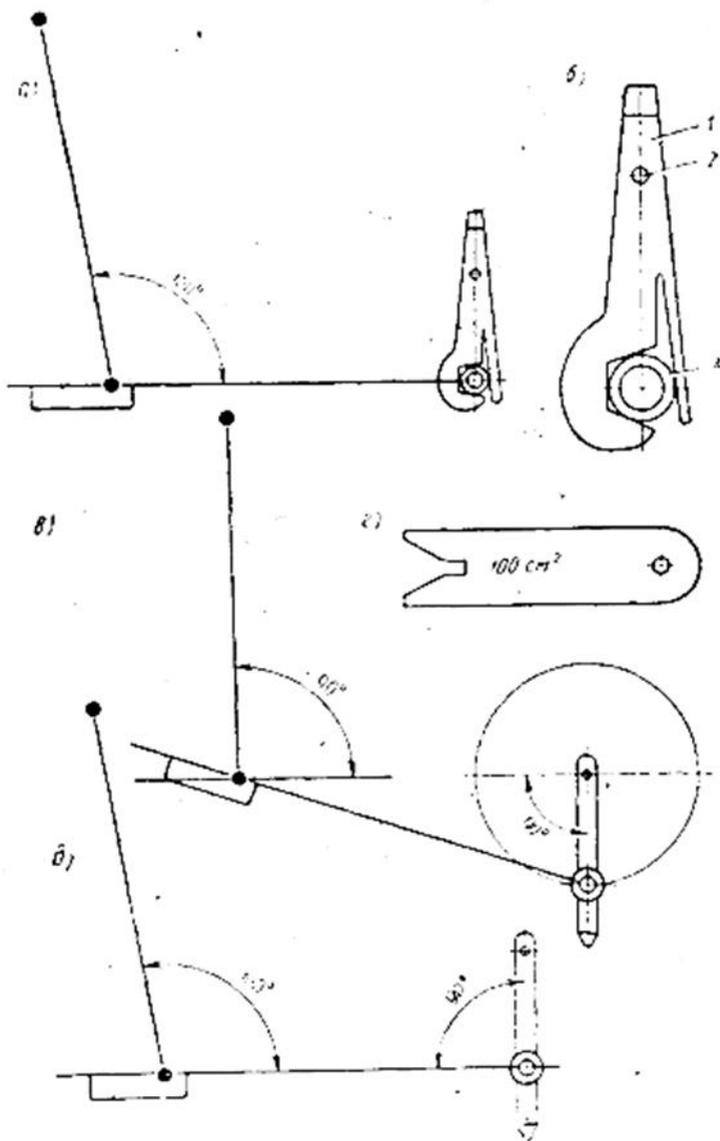


Рис .. 4. Положение планиметра для проверки на необходимый масштаб (а, в, д) и поверочные линейки (б,з)

При значениях  $f_1$  и  $f_2$  или разности  $f_1 - f_2$  больше допустимых планиметр должен быть отдан в мастерскую для проверки и ре-

гулировки.

Разность показаний счетного барабана дает площадь диаграммы непосредственно в квадратных сантиметрах лишь в том случае, если длина плеча обводного рычага подобрана специально. Правильность настройки планиметра на необходимый масштаб проверяют с помощью той же поверочной линейки. Как правило, применяют поверочную линейку с одним углублением на расстоянии 56,45 мм от опоры острия. Многие зарубежные планиметры имеют поверочные линейки фигурного вида (см. рис. 4 б, з). Площадь круга, описанная таким радиусом, равна точно  $100 \text{ см}^2$ .

Рекомендуемое исходное положение планиметра и поверочной линейки для проверки соответствия необходимого масштаба показано на рис. 3, а и 4, а, в, д. Положение планиметра и поверочной линейки, изображенное на рис. 3, а, рекомендуется для поверочных линеек, имеющих простую форму (см. рис. 1). На рис. 3 указано положение планиметра для фигурных и простых поверочных линеек. Эти положения обеспечивают выполнение необходимого условия — при вращении линейки вокруг своей оси угол между рычагами планиметра должен находиться в пределах  $30\text{—}150^\circ$ . Для повышения точности показаний планиметра вращение поверочной линейки рекомендуется начинать с того положения, где счетный барабан планиметра меняет направление вращения.

При выполнении этой проверки снимают обводное стекло и на его место вставляют контрольный диск, ось которого ставят в углубление на поверочной линейке. На планиметрах старых марок обводной штифт вставляют в углубление линейки, а на многих зарубежных планиметрах — в отверстие 2 (см. рис. 4, б) или в фигурный вырез (см. рис. 4, з) линейки вставляется основание обводного стекла. На бумаге против риски *a* (см. рис. 1) поверочной линейки делается черточка. На некоторых зарубежных планиметрах обводная точка стекла ставится на черточку, если поверочная линейка имеет форму, изображенную на рис. 4, з. Счетный барабан устанавливают на ноль или, если установка на ноль не производится, записывают его значение. Затем несколько раз проворачивают обводной рычаг вокруг острия поверочной линейки, каждый раз наблюдая за показаниями основного счетного механизма, значения которых должны быть одни и те же  $<100 \text{ см}^2$ ).

Если показания основного счетного механизма не совпадают, надо переместить каретку вправо или влево по обводному рычагу, в зависимости от того, увеличивает или занижает планиметр показания

Перемещение каретки к обводному стеклу увеличивает показания планиметра, а от стекла—уменьшает.

Планиметры с одним счетным механизмом имеют механическое приспособление для передвижения каретки на обводном рычаге. Вращение маховичка этого приспособления на себя отодвигает счетный механизм от обводного стекла и уменьшает площадь диаграммы, а при вращении от себя — приближает к обводному стеклу счетный механизм и увеличивает площадь диаграммы (если приспособление расположено справа от счетной каретки и, наоборот, если приспособление расположено слева от нее).

Необходимую длину обводного рычага  $L_2$  можно определить по формуле

$$n = \frac{n_2 - n_1}{T} \text{ об./мин.},$$

где  $L_x$  — установленная длина обводного рычага;  $M_1$  — полученный отсчет счетного механизма;  $N_2$  — правильный отсчет счетного механизма, равный 10 000 мм<sup>2</sup>.

Когда при проверке правильности установленного масштаба с помощью поверочной линейки площадь круга получается больше или меньше 100 см<sup>2</sup> (например, 103,6 или 96,2 см<sup>2</sup>) и когда необходимо определить площадь небольшого числа диаграмм, можно не регулировать длину плеча обводного рычага. Действительную площадь диаграммы определяют в этом случае путем деления площади, определенной планиметром, на поправочный коэффициент (в данном примере на 1,036 и 0,962).

Иногда поверочные линейки имеют углубления на расстоянии 40, 60 и 80 мм от острия. Площадь круга, описанная такими радиусами, будет равняться 50,26; 113,09 и 201,06 см<sup>2</sup> соответственно. В этом случае планиметр можно поверить, установив его на радиус 60 или 80 мм поверочной линейки. Однако определение соответствующих площадей не *наглядно* и представляет собой некоторые неудобства, так как каждый раз приходится определять площади путем вычислений

Чтобы этого не делать, лучше всего на такой поверочной линейке на расстоянии 56,45 мм от острия (для повышения точности это расстояние лучше отложить от линии 40 или 60 мм) сделать острым керном углубление, при проверке на котором площадь будет равняться 100 см<sup>2</sup>

Рекомендуется вращать обводной рычаг вокруг острия поверочной линейки, держась не за поводок, а за поверочную линейку, так как малейшее качание планиметра может исказить результаты отсчетов.

При отсутствии поверочной линейки поверку планиметра можно производить, обводя какую-либо точно известную площадь, например квадрат с размерами 10x10 см на миллиметровой бумаге. После регулировки каретку необходимо закрепить винтом 4 (см рис. 1).

Планиметр пригоден к эксплуатации, если погрешности не превышают допустимых величин.

Поверку на параллельность и на соответствие масштаба рекомендуется производить ежемесячно, особенно если планиметр подвергался встряске, находился на морозе (при переноске) или в условиях повышенной температуры наружного воздуха (например, в тропиках), а также после длительного перерыва в пользовании им

**Методика планиметрирования.** Поверка планиметра и планиметрирование проводятся на ровном горизонтальном столе или на специальном толстом листе фанеры, покрытом ватманом или другой гладкой, но не лощеной бумагой. Бумага должна быть натянута и закреплена

Индикаторную диаграмму прикалывают кнопками, чтобы она не смещалась. Ее также можно укреплять любыми плоскими грузиками — это не портит стол или фанеру. Иногда делают специальную доску для планиметрирования (рис. 5),

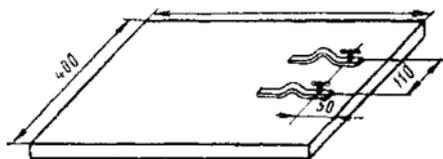


Рис. 5. Доска для планиметрирования индикаторных диаграмм.

которая снабжается двумя

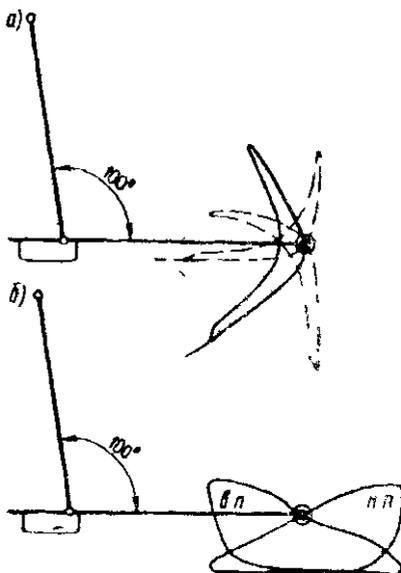


Рис. 6. Исходное положение планиметра и индикаторных диаграмм для планиметрирования.

плоскими пружинами для крепления диаграммы.

При планиметрировании индикаторных диаграмм двигателей планиметр и диаграмму следует располагать по схеме (рис. 6, *a*) так, чтобы в среднем положении угол между рычагами планиметра составлял около  $100^\circ$ , а величины отклонений в обе стороны были примерно одинаковыми. Как указывалось выше, углы между рычагами при планиметрировании должны находиться в пределах  $30-150^\circ$ .

Обвод диаграммы лучше всего начинать с той точки, где обводной ролик счетного механизма планиметра не катится, а скользит вдоль своей оси. Это положение будет в средней части линии сжатия и расширения — в месте наиболее широкой части индикаторной диаграммы. Такое положение планиметра уменьшает ошибки в начале и в конце обвода площади диаграммы.

Для начала обвода в этом месте диаграммы острооточенным карандашом делают черточку. Направление обвода диаграммы безразлично. Обычно обвод производят по часовой стрелке. При обводе диаграммы по часовой стрелке показания планиметра увеличиваются, при обводе против часовой стрелки — уменьшаются. Обводить надо осторожно, с постоянной скоростью, точно следуя по контуру диаграммы.

Если точка обводного стекла незначительно отклонилась от контура диаграммы в какую-нибудь сторону, то необходимо сделать такое же отклонение в другую сторону. При значительных отклонениях обвод диаграммы повторяют.

Не рекомендуется сильно нажимать на обводное стекло или птифт, так как от этого может приподняться обводной ролик и разобшиться с бумагой, что приведет к большим погрешностям измерения. Обводное стекло должно легко скользить по бумаге.

Обвод диаграммы для большей точности делается 2—3 раза подряд и берется среднее значение между показаниями счетного механизма на начало и конец обвода. Чтобы устранить влияние люфта в счетном механизме, повысить точность измерения и не терять времени на нулевую установку, перед началом планиметрирования барабан не ставят в нулевое положение, а путем произвольного вращения по часовой стрелке ставят центр обводного стекла или штпфт на черточку отсчета. Это значение счетного механизма записывают. Затем после трехкратного обвода диаграммы в одном и том же направлении записывают конечное показание учетного механизма и путем деления

разности отсчетов на количество обводов определяют среднее значение площади диаграммы

При отсутствии навыка планиметрирования отсчет и запись показаний счетного механизма рекомендуется производить после каждого обвода. При незначительном отклонении показаний в определении площади диаграммы берут среднее значение между ними, а если отклонения большие, планиметрирование следует повторить

При планиметрировании индикаторной диаграммы паровой машины, когда на одну бумагу снимают диаграммы с двух полостей, обвод контура рекомендуется начинать с точки пересечения обеих диаграмм (рис 4, б). Планиметр и диаграмму устанавливают так, как указано на рисунке. В этом случае конец последнего обвода контура диаграммы одной полости и отсчет показаний счетного механизма является началом обвода и отсчета для контура диаграммы другой полости. Такая методика ускоряет работу по планиметрированию диаграммы и увеличивает точность отсчета

По окончании работы с планиметром обводные ролики смазывают швейным или часовым маслом и планиметр укладывают в футляр.

После того как диаграммы спланиметрированы, контур их необходимо обвести карандашом штриховой или штрихпунктирной линией, так как контур может на свету выгореть и стать совершенно незаметным.

### Литература

Соловьев Б.И. Теплотехнические испытания и эксплуатация судовых дизелей. Изд-во "Транспорт", 1973. - 1-240 стр. Стр. 159-170