

## ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ В МЕТРОЛОГИИ, или что скрывает ГОСТ 8.570-2000 «Резервуары стальные вертикальные цилиндрические. Методика поверки»

### Нормативная база градуировки вертикальных резервуаров – вчера и сегодня

До 2002г. градуировку вертикальных резервуаров регламентировал документ МИ 1823-87, с 1 января 200г. вступил в силу ГОСТ 8.570-2000.

Собственно говоря, принципиальных различий между двумя документами быть не должно. Оно понятно. Резервуар – что до 1 января 2002г., что после, – остается резервуаром, и его объем от изменения регламентирующих документов не меняется.

И, тем не менее, в одном моменте два документа все же разошлись.

Как известно, крайне сложно построить строго вертикальный резервуар. Небольшой наклон в ту или иную сторону возникает практически всегда, то есть в общем случае геометрическая фигура резервуара в пространстве представляет собой слегка наклоненный прямой цилиндр. Если в такой резервуар наливать продукт, то он покрывает днище не сразу равномерно слоем одинаковой толщины (допустим, что в днище резервуара нет неровностей), а постепенно. Сначала самую низкую часть резервуара, затем охватывает все большую площадь днища, и только, начиная с некоторого количества продукта, в днище резервуара появляется «зеркало», то есть продукт охватывает все поперечное сечение резервуара.

Понятно, что этот наклон нужно учесть и корректно отразить в градуировочной таблице.

Определение наклона резервуара предусматривается обоими нормативными документами, но в разной степени.

МИ 1823-87 предусматривал расчет радиальных отклонений образующих резервуара от вертикали. На их основе рассчитывался тангенс угла наклона, который сверялся с предельно допустимой величиной 0,02. Если наклон укладывался в предельно допустимый наклон, то резервуар признавался годным к градуировке геометрическим методом. Если же нет, то резервуар подлежал градуировке только объемным методом. Непосредственно в градуировочной таблице наклон не учитывался, то есть расчеты производились так, как будто бы резервуар представляет собой прямой цилиндр, поставленный строго вертикально. Видимо, разработчики МИ 1823-87 предполагали, что максимальный перепад взливов жидкости в двух противоположных точках наклоненного резервуара меньше высоты «мертвой полости», в результате чего наклон как бы поглощается последней. «Мертвая полость», как известно, в коммерческих и учетных операциях не участвует, поэтому влияние наклона не должно сказываться на точности данных операций.

ГОСТ 8.570-2000, помимо измерений радиальных отклонений образующих резервуара от вертикали (обязательная таблица Б.4), дополнительно предполагает уточнение наклона на образующей, имеющей предположительно наибольший наклон (обязательная таблица Б.14). Помимо коэффициента наклона, который, как и в МИ 1823-87, равен тангенсу угла наклона резервуара, ГОСТ 8.570-2000 учитывает, во-первых, направление наклона (угол отсчитывается от измерительного люка по часовой стрелке); во-вторых, принимает во внимание наклон при расчете непосредственно градуировочной таблицы. Это существенный положительный момент ГОСТ 8.570-2000 по сравнению с МИ 1823-87, поскольку даже небольшой наклон для больших резервуаров означает значительное изменение объема в донной части резервуара.

Например, пусть резервуар, имеющий диаметр 22775 мм, характеризуется коэффициентом наклона 0,015, что эквивалентно отклонению от вертикали 0,85°. При этом угле наклона, визуальное не фиксируемое, максимальный перепад взливов в двух противоположных точках резервуара (при отсутствии неровностей днища в этих точках) составляет более 30 см:

$$22775 \times 0,015 = 334 \text{ мм}.$$

Соответственно искажение объема, вносимое этим перепадом взливов, составит объем полуцилиндра высотой 334 мм, то есть

$$\frac{1}{2} \pi \times \left( \frac{22775}{2} \right)^2 \times 334 \times 10^{-6} = 65079 \text{ дм}^3, \text{ то есть } 65 \text{ м}^3. \text{ Согласитесь, впечатляет.}$$

Если наклон направлен в сторону измерительного люка (то есть направление наклона в

градуировочной таблице  $0^\circ$ ), то данный объем должен вычитаться из объема, приходящегося на каждый взлив выше 334 мм, поскольку взлив под измерительным люком на 334 мм больше, чем в противоположной стороне резервуара (продукт подтекает под измерительный люк).

И наоборот, если наклон направлен в противоположную сторону от измерительного люка (то есть направление наклона уже  $180^\circ$ ), то данный объем должен прибавляться к объему, приходящемуся на каждый взлив выше 0 мм, поскольку взлив под измерительным люком на 334 мм меньше, чем в противоположной стороне резервуара (продукт оттекает от измерительного люка).

Эта поправка вносится в градуировочную таблицу программой градуировки, утвержденной ГНМЦ-ВНИИР 30 марта 2001г. и применяемой при градуировке вертикальных резервуаров, начиная с 2002г.

Как видно из примера, цена вопроса может быть достаточно велика. Поэтому, если кому-либо приходится продавать нефтепродукты по замерам в резервуарах покупателя (такое бывает при перевозках водным транспортом или транспортировке по трубопроводу), то в обязательном порядке предусмотрите в договоре пункт, что покупатель производит прием продукта на «зеркало», то есть на продукт, причем не ниже уровня «мертвой полости». Обоснуйте Ваше требование тем, что на титульном листе градуировочной таблицы любого резервуара написано, что участок ниже «мертвой полости» не используется для коммерческих расчетов.

### **Теория относительности, или куда наклонен резервуар?**

Наклон резервуара при градуировке может определяться двумя способами – с применением или измерительной каретки и отвеса, или измерительной каретки и теодолита.

ГОСТ 8.570-2000, правда, приводит еще один способ – измерения простым отвесом, отпускаемым с кровли резервуара. Но этим архаичным и к тому же весьма неточным способом в настоящее время вряд ли кто-то пользуется, поэтому я не буду его касаться.

Эти два способа измерения изложены в пунктах 9.1.2.3, 9.1.2.4 и 9.1.3.1 ГОСТ 8.570-2000, а также проиллюстрированы рис.А.2 (каретка и отвес) и А.4 (каретки и теодолит).

Почти в таком же виде оба рисунка присутствуют в МИ 1823-87; там они числятся как чертеж 2 и чертеж 3, объяснение измерений дано в пунктах 8.1.2.3 и 8.1.2.4 документа.

Для нашего дальнейшего разбора рисунки из ГОСТ 8.570-2000 представляют главную ценность. Но использовать их придется с некоторыми модификациями.

Рис.А.2, в отличие от рис.А.4, значительно более содержателен и нагляден. Поэтому я посчитал целесообразным и допустимым воспроизвести схему измерений при помощи измерительной каретки с теодолитом аналогично рис.А.2, то есть взял рис.А.2 за основу. Кроме того, внес небольшие косметически изменения и в сам рис.А.2 – для большей наглядности.

Обе схемы измерений представлены рис.1-4. На всякий случай еще раз добавлю: все четыре рисунка построены на основе рис.А.2 и А.4 из ГОСТ 8.570-2000, то есть мое авторство в художественной части минимально и исчисляется первыми процентами. Но зато мое авторство уже является стопроцентным при объяснении этих рисунков.

На рис.1-2 показана схема измерения при помощи каретки и отвеса, при этом рис.1 предполагает, что образующая резервуара, вдоль которой ведется измерение, наклонена внутрь. И наоборот, рис.2 предполагает, что образующая наклонена наружу. Аналогично разделены рис.3-4, которые изображают измерения при помощи каретки и теодолита: рис.3 соответствует резервуару, который вдоль образующей наклонен внутрь, рис.4 отвечает резервуару, наклоненному вдоль образующей наружу.

Сначала об измерениях с применением каретки и отвеса.

Согласно первому абзацу пункту 9.1.2.3 ГОСТ 8.570-2000, *при определении радиальных отклонений поясов резервуара с применением измерительной каретки с отвесом измеряют расстояние  $a$  от стенки резервуара до нити отвеса  $b$ , проходящей через отметки разбивки (рисунок А.2)*. Это же касается и измерений наклона резервуара согласно пункту 9.1.3 ГОСТ 8.570-2000.

Если взглянуть на рис.А-2, то можно убедиться, что величина  $a$  действительно показывает расстояние от нити отвеса до стенки резервуара.

А теперь посмотрим, что говорится во втором предложении третьего абзаца пункта

9.1.2.3: *линейку устанавливают в середине высоты первого пояса при помощи магнитного держателя 7 перпендикулярно к стенке резервуара, поочередно для каждой отметки разбивки.*

Но если линейка укреплена на первом поясе резервуара, а каретка катится поочередно по всем поясам, начиная с первого по последний, то лишь один раз расстояние  $a$  будет соответствовать тому, что сказано в первом абзаце пункта 9.1.2.3 ГОСТ 8.570-2000, то есть расстоянию от нити отвеса до стенки. Это будет первый пояс резервуара.

На всех же остальных поясах мы уже не получим расстояние от нити отвеса до стенки резервуара, поскольку линейку не перемещаем. На поясах выше первого будет иметь место некое условное расстояние от нити отвеса до условной вертикали, проведенной к первому поясу в точке крепления линейки. Как это выглядит, показывают рис.1-2: условная вертикаль, до которой фактически измеряется расстояние от нити отвеса, показана синим пунктиром.

Итак, в пункте 9.1.2.3 ГОСТ 8.570-2000 имеется серьезная неточность. Кстати, точно такая же была допущена в МИ 1823-87.

Переходим к измерениям с применением каретки и теодолита.

Согласно первому абзацу пункту 9.1.2.4 ГОСТ 8.570-2000, *при определении радиальных отклонений с применением каретки с теодолитом (рисунок А.4) измеряют расстояние  $a$  от стенки резервуара до визирной линии 6 теодолита 8, направленной перпендикулярно к линейке 2, укрепленной на оси каретки 1.* Данное правило справедливо также для измерений наклона резервуара согласно пункту 9.1.3 ГОСТ 8.570-2000.

Согласно рис.А-4, величина  $a$  соответствует расстоянию от визирной линии до стенки резервуара (правда, в подрисовочном тексте указано, что это есть расстояние от стенки резервуара до нити отвеса – видимо, все-таки слишком излишне торопились при написании).

На рис.3-4 показано, что в случае каретки и теодолита действительно измеряется расстояние от стенки резервуара до визирной линии, которая для наглядности также показана синим пунктиром. Другими словами, измерение при помощи каретки и теодолита изложено в пункте 9.1.2.4 без ошибок (в отличие от пункта 9.1.2.3).

Есть ли разница между результатами замеров наклона этими двумя способами?

Есть, да еще какая.

Очевидно, что, если резервуар вдоль образующей наклонен внутрь (рис.1 и рис.3), то:

- согласно рис.1 (каретка + отвес), последовательные замеры расстояния  $a$  дадут в итоге постепенно **убывающий** ряд значений (нить отвеса приближается к условной вертикали вдоль первого пояса);
- согласно рис.3 (каретка + теодолит), последовательные замеры расстояния  $a$  дадут в итоге постепенно **возрастающий** ряд значений.

Ясно, что, если резервуар вдоль образующей наклонен наружу (рис.2 и рис.4), то:

- согласно рис.2 (каретка + отвес), последовательные замеры расстояния  $a$  дадут в итоге постепенно **возрастающий** ряд значений (нить отвеса удаляется от условной вертикали вдоль первого пояса);
- согласно рис.4 (каретка + теодолит), последовательные замеры расстояния  $a$  дадут в итоге постепенно **убывающий** ряд значений.

Там, где каретка и отвес дают убывающие значения, каретка и теодолит дают возрастающие значения. И наоборот, где показания каретки и отвеса возрастают, показания каретки и теодолита убывают.

Два способа измерений дают зеркальные относительно друг друга ряды значений.

Почему так получается – никакой не секрет.

Согласно первому закону Ньютона, движение всегда относительно (допустим, Вы наблюдаете движение в окно поезда). Но есть принципиальная разница в том, что в данный момент движется – Ваш поезд относительно неподвижного состава на соседних путях, или же, наоборот, соседний состав относительно Вашего поезда, который неподвижно стоит в ожидании зеленого света.

Нечто аналогичное имеет место в случае двух способов измерения наклона резервуара. Система измерений, то есть линейка, в случае каретки и отвеса неподвижна (линейка закреплена на первом поясе резервуара), а в случае каретки и теодолита подвижна (линейка закреплена на движущейся каретке).

Конечно, если дальнейшую обработку этих двух зеркальных относительно друг друга

рядов осуществить корректно, то никаких проблем не должно быть, то есть в градуировочной таблице наклон резервуара будет учтен как положено.

Однако штопор сюжета в том, что никакой корректной обработки двух зеркальных рядов ГОСТ 8.570-2000 не предусматривает.

Полученные в ходе измерений – как кареткой и отвесом, так и кареткой и теодолитом – заносятся в обязательные таблицы Б.4 и Б.14. Но как заносятся?

В таблицу Б.4 данные заносятся вообще без указания способа получения данных, идет ли речь о системе «каретка + отвес + линейка» или «каретка + теодолит + линейка».

В таблицу Б.14 данные заносятся, правда, с указанием способа получения данных. Но прелесть ситуации в том, что оба приведенных выше способа ... включаются в одну группу (!), то есть, как и при составлении таблицы Б.4, эти два способа все равно ставятся на одну доску.

В итоге ГОСТ 8.570-2000, хотя и выделяет два способа измерений – или каретка и отвес, или каретка и теодолит, – при окончательной обработке данных о радиальных отклонениях (таблица Б.4) и наклоне резервуара (таблица Б.14) фактически не различает эти способы – словом, *смешались в кучу кони, люди...*

И это не очень хорошо. Я бы сказал даже, что совсем плохо.

При абсолютно одинаковой обработке двух зеркальных рядов данных, полученных двумя различными способами, мы получим две различные градуировочные таблицы на резервуар. Нет необходимости доказывать, что только одна из них будет верной, поскольку в ней будет указано правильное направление наклона резервуара. Вторая таблица окажется заведомо неверной, то есть в ней будет указано строго противоположное, то есть неправильное направление наклона резервуара.

Неправильно наклоненный (в градуировочной таблице, разумеется) резервуар может зависеть или, наоборот, занижить объем резервуара на величину, равную объему цилиндра с поперечником резервуара и высотой в перепад взливов в наиболее высокой и наиболее низкой точкой днища (предполагаем, что неровности днища отсутствуют), то есть

$$\Delta V = \pi R^2 h = 2\pi R^3 \operatorname{tg} \beta, \quad \text{где}$$

$\Delta V$  – ошибка в определении объема резервуара в градуировочной таблице при неправильном указании направления наклона;

$R$  – радиус резервуара;

$h$  – перепад взливов в наиболее низкой и соответственно наиболее высокой частях днища резервуара, такой, что  $h = 2R \operatorname{tg} \beta$ .

$\beta$  – угол наклона резервуара.

В примере, приводившемся выше, ошибка составила бы удвоенную величину полуцилиндра, то есть  $120 \text{ м}^3$  – почувствуйте, что называется, каков бывает русский размер.

Теперь главный, почти сакраментальный вопрос: а какой же из двух способов измерений дает правильную градуировочную таблицу? Каретка и отвес? Или каретка и теодолит?

Хотя пункт 9.1.2.3 и рис.А.2 некорректно интерпретируют измерения кареткой и отвесом (в отличие от пункта 9.1.2.4 и рис.А.4, которые правильно объясняют измерения кареткой и теодолитом), истина в очередной раз парадоксальна.

Правильное направление наклона резервуара, судя по ряду признаков, которые здесь по понятным соображениям опущены, указывает градуировочная таблица, составленная на основе ... каретки и отвеса.

А вот измерениям при помощи каретки и теодолита повезло меньше. Градуировочная таблица в этом случае, судя по ряду признаков, которые здесь понятным соображениям здесь также опущены, получается левой. Как это ни жаль, поскольку метод точнее, ибо качающийся отвес и абсолютно неподвижная визирная линия теодолита – это две большие разницы.

Одним словом, я бы порекомендовал счастливым владельцам собственных вертикальных резервуаров проверить их наклон сразу двумя способами – и кареткой с отвесом, и кареткой с теодолитом.

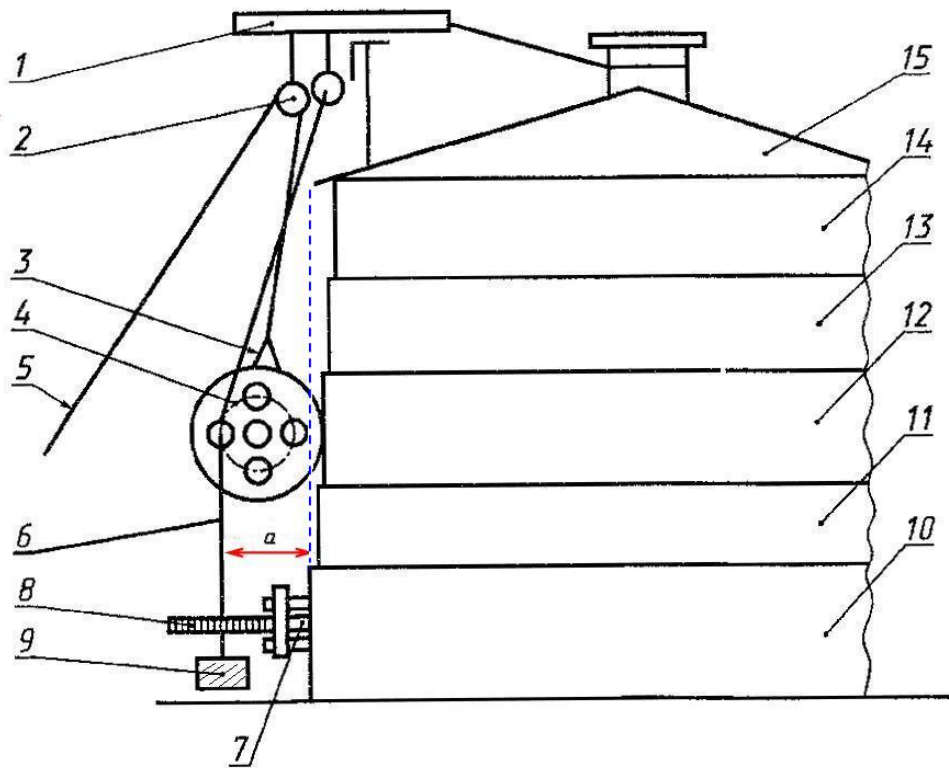


Рис.1 (за основу взят рис А.2 из ГОСТ 8.570-200).

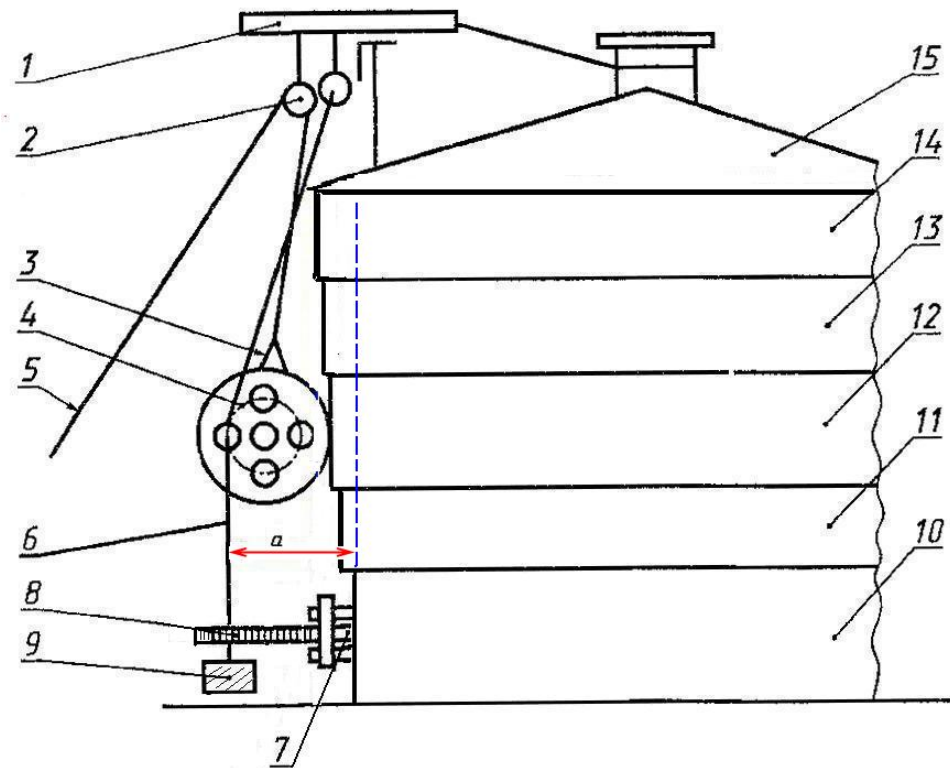


Рис.2 (за основу взят рис А.2 из ГОСТ 8.570-200).

**Условные обозначения:** 1 – штанга; 2 – блок; 3 – каретка измерительная; 4 – колеса каретки; 5 – тяговый канат; 6 – нить отвеса; 7 – магнитный держатель; 8 – линейка; 9 – отвес; 10, 11, 12, 13, 14 – пояса резервуара; 15 – кровля резервуара;  $a$  – расстояние от стенки первого пояса резервуара до нити отвеса

**Примечание:** в ГОСТ 8.570-2000 под рис.А.2, изображающим схему измерения наклона резервуара при помощи каретки и отвеса, указано, что  $a$  есть расстояние от стенки резервуара до нити отвеса.



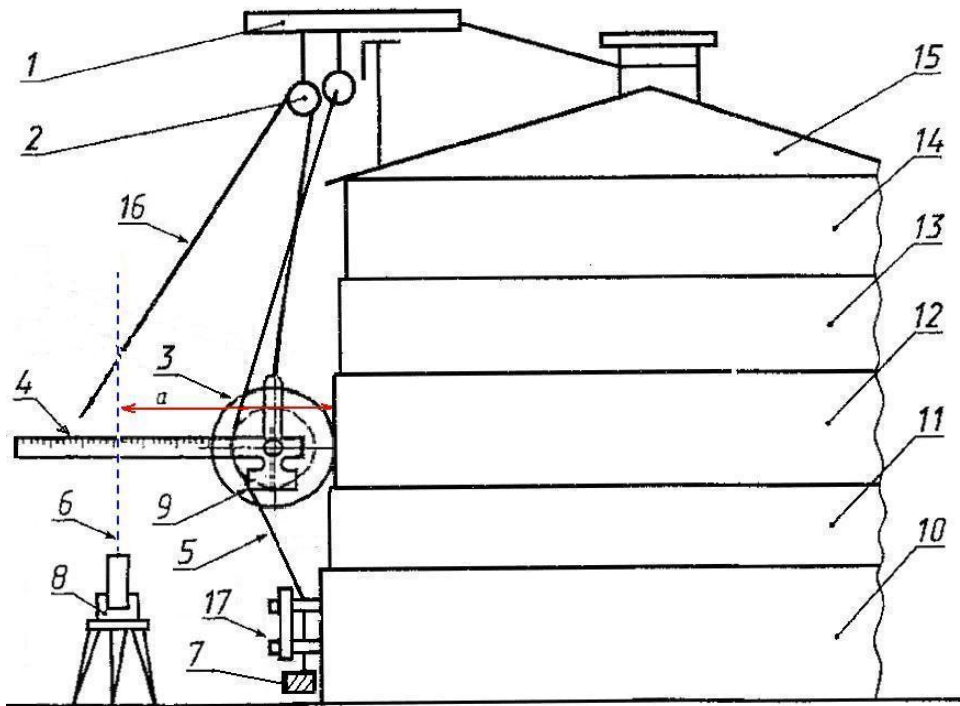


Рис.3 (за основу взят рис А.4 из ГОСТ 8.570-200).

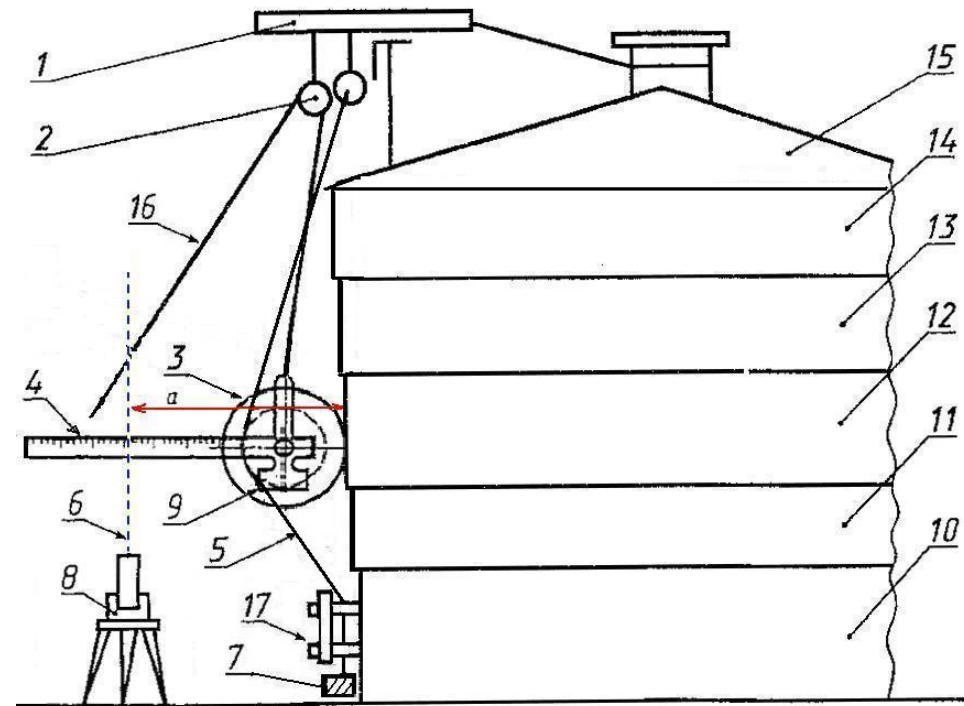


Рис.4 (за основу взят рис А.4 из ГОСТ 8.570-200).

**Условные обозначения:** 1 – штанга; 2 – блок; 3 – каретка измерительная; 4 – линейка; 5 – струна; 6 – визирная линия; 7 – груз; 8 – теодолит; 9 – противовес; 10, 11, 12, 13, 14 – пояса резервуара; 15 – кровля резервуара; 16 – тяговый канат; 17 – магнитный держатель; а – расстояние от стенки резервуара до визирной линии

**Примечание:** в ГОСТ 8.570-2000 под рис.А4, изображающим схему измерения наклона резервуара при помощи каретки и теодолита, ошибочно указано, что а есть расстояние от стенки резервуара до нити отвеса.