

## О выборе лабораторного плотномера для измерений плотности нефти и нефтепродуктов

Плотность является ключевым параметром для контроля качества и коммерческого учета нефти и нефтепродуктов. Традиционно плотность нефтепродуктов определяется ареометром или пикнометром, но наиболее эффективный способ ее определения — с помощью электронных плотномеров, работа которых основана на измерении периода собственных колебаний полой U-образной трубки, заполненной исследуемой жидкостью. Измерение плотности таким методом позволяет получать точные результаты при минимальной трудоемкости и незначительных временных затратах. Дополнительными достоинствами этого метода измерения плотности являются малый объем пробы и закрытость измерительной ячейки.

До 2011 года не было отечественных нормативных документов, регламентирующих применение вибрационных плотномеров для лабораторного определения плотности нефти и нефтепродуктов. Поэтому, при использовании таких приборов в лабораториях контроля качества и на узлах учета нефти и нефтепродуктов, специалисты были вынуждены ориентироваться на требования зарубежных стандартов таких, как:

- «ASTM D4052. Standard Test Method for Density and Relative Density of Liquids by Digital Density Meter» (Стандартный метод определения плотности и относительной плотности жидкостей при помощи цифрового плотномера);
- «ASTM D5002. Standard Test Method for Density and Relative Density of Crude Oils by Digital Density Analyzer» (Стандартный метод определения плотности и относительной плотности сырой нефти при помощи цифрового анализатора плотности);
- «ISO 12185. Crude petroleum and petroleum products. Determination of density. Oscillating U-tube method» (Нефть и нефтепродукты. Определение плотности прибором с колеблющейся U-образной трубкой).

Метрологические требования этих документов не во всем соответствовали требованиям отечественных ГОСТ 3900 «Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности» и ГОСТ Р 51069 «ГСИ. Нефть и нефтепродукты. Метод определения плотности, относительной плотности и плотности в градусах API ареометром», используемых при контроле качества и учета нефти и нефтепродуктов.

Метрологические требования упомянутых нормативных документов приведены в таблице 1:

Таблица 1

Средство измерения	Нормативный документ	Диапазон, кг/м <sup>3</sup>	Погрешность СИ, кг/м <sup>3</sup>	Сходимость метода, кг/м <sup>3</sup>	Воспроизводимость метода, кг/м <sup>3</sup>
Ареометр	ГОСТ 3900	600...1000 600...1100	±0.3 ±0.6	0.5 <sup>1)</sup> , 0.6 <sup>2)</sup>	1.2 <sup>1)</sup> , 1.5 <sup>2)</sup>
	ГОСТ Р 51069	600...1100	±0.3, ±0.6	0.5 <sup>1)</sup> , 0.6 <sup>2)</sup>	1.2 <sup>1)</sup> , 1.5 <sup>2)</sup>
	ASTM D 1298	600...1100	±0.2, ±0.3, ±0.6	0.5 <sup>1)</sup> , 0.6 <sup>2)</sup>	1.2 <sup>1)</sup> , 1.5 <sup>2)</sup>
Пикнометр	ГОСТ 3900	777...892	—	0.7	1.0
Вибрационный плотномер	ASTM D 4052	680...970	±0.1	0.1	0.5
	ASTM D 5002	750...950	±0.1	0.8...1.0	2.9...3.9
	ISO 12185	600...1100	±0.1	0.2 <sup>1)</sup> , 0.4 <sup>2)</sup>	0.5 <sup>1)</sup> , 1.5 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Для прозрачных нефтепродуктов.

<sup>2)</sup> Для непрозрачных нефтепродуктов и сырой нефти.

28 декабря 2010 года был принят и с 1 июля 2011 года введен в действие документ Р 50.2.075 «Нефть и нефтепродукты. Лабораторные методы измерения плотности, относительной плотности и плотности в градусах API», в котором, кроме требований к ареометрическому и пикнометрическому методам, также сформулированы и требования к вибрационному методу измерения и установлена величина методической погрешности при измерении плотности нефти и нефтепродуктов.

Метрологические требования этого документа для разных методов измерения плотности приведены в таблице 2:

Таблица 2

Средство измерения	Диапазон, кг/м <sup>3</sup>	Погрешность СИ, кг/м <sup>3</sup>	Сходимость метода, кг/м <sup>3</sup>	Воспроизводимость метода, кг/м <sup>3</sup>
Ареометр	600...1100	±0.3, ±0.6	0.5 <sup>1)</sup> , 0.6 <sup>2)</sup>	1.2 <sup>1)</sup> , 1.5 <sup>2)</sup>
Пикнометр	777...892	—	0.7	1.0
Вибрационный плотномер	680...970 <sup>1)</sup>	±0.1	0.1 <sup>1)</sup>	0.5 <sup>1)</sup>
	750...950 <sup>2)</sup>		0.8...1.0 <sup>2)</sup>	2.9...3.8 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Для светлых нефтепродуктов.

<sup>2)</sup> Для темных нефтепродуктов и сырой нефти.

Из приведенных в таблице 2 данных следует, что использование вибрационного метода измерения для светлых нефтепродуктов дает более точные результаты в сравнении с другими методами определения плотности. Для темных нефтепродуктов и сырой нефти сходимость и воспроизводимость результатов при вибрационном методе измерения хуже, чем при использовании ареометра или пикнометра.

Но в любом случае, использование плотномеров с пределом допустимой абсолютной погрешности измерения плотности лучше, чем 0.1 кг/м<sup>3</sup> не представляется целесообразным потому, что определяющим фактором при формировании общей погрешности измерения плотности нефти или нефтепродуктов будет погрешность метода. Соответ-

ственно, вложение дополнительных средств в приобретение более точного плотномера не приведет к желаемому увеличению общей точности измерения.

Дополнительным аргументом в пользу отказа от применения более точных приборов для измерений плотности нефти и нефтепродуктов является сложность проведения их периодической поверки, поскольку доступные ГСО плотности имеют абсолютную погрешность не менее  $0.05 \text{ кг/м}^3$ .

Лабораторные приборы, обеспечивающие измерение плотности с пределом абсолютной погрешности в  $0.1 \text{ кг/м}^3$ , выпускаются всеми ведущими производителями вибрационных плотномеров.



Даже при беглом взгляде на эти приборы обращает на себя внимание тот факт, что все приборы, при всем разнообразии их внешних форм, имеют схожую компоновку с характерным расположением датчика и, соответственно, боковым вводом пробы, остающаяся неизменной на протяжении нескольких поколений моделей плотномеров. Видимо, это объясняется схожей конструкцией измерительной ячейки, унаследованной от бесспорного лидера и законодателя мод в области вибрационной плотнометрии — австрийской компании «Anton Paar».

Также все приборы имеют встроенные термостаты с принудительной вентиляцией и, соответственно, близкие технические характеристики: диапазоны температур и диапазоны измерения, минимальный объем пробы и прочее, вплоть до набора внешних интерфейсов. Имеющиеся отличия, в основном, касаются ряда вспомогательных функций, обеспечивающих некоторые конкурентные преимущества производителям.

Схожесть конструкций плотномеров от разных производителей определяет схожие массогабаритные характеристики, близкую потребляемую мощность и примерно одинаковый уровень цен.

Плотномер отечественной компании «ТЕРМЭКС», благодаря собственной конструкции датчика и термостата, имеет другую компоновку, что позволило создать легкий, компактный и недорогой прибор с низким энергопотреблением, обладающий при этом сходными метрологическими характеристиками, полностью соответствующими требованиям к рутинным измерениям плотности нефти и нефтепродуктов.

Массогабаритные характеристики и ориентировочные цены плотномеров от различных производителей приведены в таблице 3:

Таблица 3

Плотномер	Производитель	Размеры, мм	Масса, кг	Потребляемая мощность, Вт	Цена, т.руб
DMA 4100 M	Anton Paar, Австрия	482×340×231	22.5	80	600
DDM 2910	Rudolph, США	915×483×457	31.8	200	620
DM 40	Mettler-Toledo, США	272×385×215	13.5	100	680
DA-640	КЕМ, Япония	320×365×250	18.0	120	650
ВИП-2МР	ТЕРМЭКС, Россия	205×200×80	3.0	15	100

Имеющийся опыт ремонта различных плотномеров, эксплуатируемых в отечественных нефтяных компаниях, позволил инженерам компании «ТЕРМЭКС» провести анализ типовых неисправностей, выявить слабые места и учесть их при проектировании собственного прибора.



Большинство существующих лабораторных плотномеров имеют узел ввода пробы с боковым расположением патрубков, что хорошо подходит для подключения систем автоматической подачи образцов или насоса для забора пробы всасыванием. Но первый метод ввода пробы требует значительных дополнительных расходов на приобретение такой системы и будет оправдан только при больших объемах анализа. Второй метод не подходит для анализа нефтей и нефтепродуктов с большим количеством летучих компонентов. При ручном вводе пробы шприцем, методе, используемом в большинстве отечественных лабораторий, легко нарушить герметичность соединения входного патрубка с жестко закрепленной измерительной ячейкой, что приведет к проливу части вводимой пробы внутрь прибора и возникновению неисправности. А при очень неаккуратном обращении можно повредить и саму измерительную ячейку, что повлечет за собой длительный и дорогостоящий ремонт прибора.



У плотнера ВИП-2МР компании «ТЕРМЭКС» измерительная ячейка расположена на «плавающем» подвесе, а узел ввода пробы расположен на лицевой панели прибора и соединен с ней термоохлажденной тефлоновой подводкой. Такая конструкция исключает возможность разгерметизации соединения и пролива пробы на внут-

ренные узлы прибора. Благодаря наклонной передней панели прибора, ввод пробы шприцем в ВИП-2МР более эргономичен и легче контролируем. А «мягкий» подвес измерительной ячейки обеспечивает ее лучшую живучесть при транспортировке прибора или при работе плотномера в составе передвижных лабораторий.

Измерительные ячейки (резонаторы) у плотномеров некоторых производителей работают со значительной амплитудой колебаний, что можно легко определить на слух. Это может приводить к расслоению пробы в ячейке и выделению пузырьков газа, поэтому в эксплуатационной документации к этим приборам содержится требование об обязательном выключении колебаний резонатора перед вводом пробы в ячейку. Большая амплитуда колебаний резонатора обуславливает большее влияние вязкости образца на измеряемое значение плотности, что приводит к необходимости введения механизмов коррекции результатов измерений.

Оригинальная форма резонатора плотномера ВИП-2МР позволяет ему работать с минимальной амплитудой колебаний в режиме микроперемещений. Благодаря этому, датчик прибора менее склонен к образованию пузырей и расслоению пробы в процессе измерения. Конструкция измерительной ячейки такова, что максимально вязкая проба, которую можно набрать в шприц и ввести в нее, не окажет заметного влияния на результат измерения плотности.

Все перечисленные приборы зарубежных производителей имеют визуальные и аппаратно-программные системы контроля заполнения измерительной ячейки, разной степени сложности и эффективности. Такие системы значительно усложняют конструкцию этих приборов и повышают их стоимость, но при этом все-таки не дают стопроцентной гарантии правильности ввода пробы.

Конструкция измерительной ячейки и схемы возбуждения колебаний плотномера ВИП-2МР такова, что, при попадании заметного пузырька воздуха в ячейку, резонансные колебания со стабильной амплитудой не возникнут и провести измерение будет попросту невозможно. Проблемы, возникающие с попаданием в ячейку микропузырьков воздуха, решаются с помощью последующего ввода второй части пробы и оценки сходимости полученного результата, в полном соответствии с рекомендациями Р 50.2.075 по проведению измерений. В плотномере ВИП-2МР такое двухстадийное измерение заложено во встроенную автоматическую процедуру управления прибором.

В отличие от приборов других производителей, где введенная проба поступает непосредственно в измерительную ячейку, в плотномере ВИП-2МР проба сначала проходит через щелевой теплообменник, где приобретает температуру встроенного термостата. Это сокращает время, необходимое для достижения теплового равновесия между введенной пробой и измерительной ячейкой и, соответственно, общее время анализа.



Плотномер ВИП-2МР имеет модульную конструкцию с отдельным воздушным компрессором и вентилятором для охлаждения встроенного термостата. Такая конструкция позволяет не загромождать рабочее место и использовать вспомогательные приспособления по мере их необходимости. Например, если измерение плотности необходимо про-

водить при температуре 20 °С, а температура в лаборатории не превышает 27 °С, то нет никакой необходимости в принудительном охлаждении радиатора термостата.

Кроме того, такая конструкция повышает живучесть прибора и значительно снижает стоимость эксплуатации. Например, при выходе из строя воздушного компрессора его можно заменить любым подходящим экземпляром из ближайшего магазина, не обращая за ремонтом к производителю или его представителям.

Кроме того, наличие жидкостных разъемов с конусом Люэра в узле ввода пробы позволяет использовать стандартные медицинские полипропиленовые шприцы, что также положительно сказывается на снижении стоимости эксплуатации прибора.

Помимо стандартных интерфейсов USB и RS232, плотномер ВИП-2МР может быть укомплектован интерфейсом RS485, столь любимым отечественными специалистами, занимающимися автоматизацией производства.

Гарантийный срок эксплуатации прибора в 24 месяца с обязательством изготовителя, в случае его отказа, восстановить его работоспособность в течение нескольких рабочих дней, с организацией и оплатой доставки прибора в обе стороны, является хорошим конкурентным преимуществом отечественного производителя.

Суммируя все сказанное выше, можно заключить, что вибрационный плотномер ВИП-2МР отечественной компании «ТЕРМЭКС» является хорошей альтернативой плотномерам от известных мировых производителей для рутинных измерений плотности нефти и нефтепродуктов в лабораториях с ограниченным бюджетом или жесткими условиями эксплуатации.