

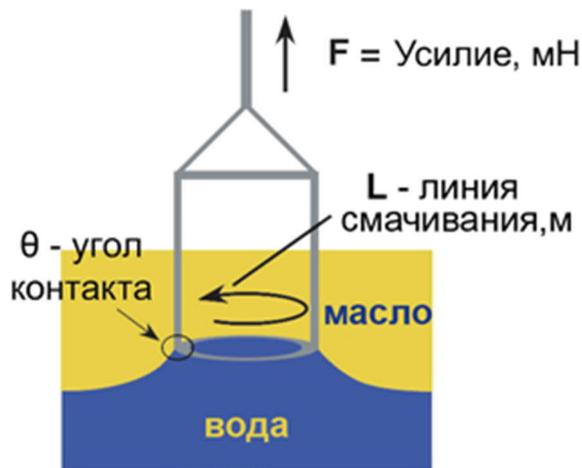
Контроль качества трансформаторного масла по ASTM D971, ГОСТ Р 55413

Контроль качества трансформаторного масла и степень его загрязнения определяют согласно ASTM D971 (российский аналог ГОСТ Р 55413-2013), а также согласно СТО 56947007-29.180.010.070-2011 (Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС»). Измеряют межфазное натяжение на границе масло / вода с помощью [метода отрыва кольца дью Нуи](#). Высокое значение МН в новом масле означает отсутствие нежелательных загрязнителей. Данный метод позволяет определить даже небольшое количество растворенных полярных загрязнителей или продуктов окисления.

Межфазное натяжение определяется как сила, необходимая для отрыва кольца или пластины от поверхности раздела фаз двух жидкостей (масла и воды), приходящаяся на единицу поверхности. При работе по методу кольца необходимо вводить дополнительные поправки (Зайдмана и Уотерса) на кривизну радиусов кольца; в настоящий момент метод пластины считается более точным.

За исключением некоторых синтетических жидкостей, базовые масла (минеральные масла, поли-альфаолефины) являются гидрофобными жидкостями, не смешивающимися с водой. Чистая вода имеет высокое значение поверхностного натяжения за счет полярной части, а базовое минеральное масло имеет высокое поверхностное натяжение за счет неполярной составляющей; таким образом, по правилу подобия, данные жидкости не смешиваются.

Со временем загрязненное масло будет больше взаимодействовать с водой за счет накопления в нем гидрофильных поверхностно-активных веществ (ПАВ), адсорбирующихся на границе масло-вода. В результате, чем старше масло, тем легче оно контактирует с водой; при этом межфазное натяжение на границе масло-вода снижается.



Межфазное натяжение пропорционально концентрации и полярности ПАВ. Увеличение вязкости соответствует увеличению МН, однако увеличение температуры снижает МН между водой и маслом. Следует заметить, что при определенной повышенной температуре границы между веществами стираются.

Межфазное натяжение так же, как и поверхностное натяжение (ПН), измеряют с помощью тензиометров. Согласно ASTM D971 и ASTM D2285, тензиометр должен быть оснащен плоским столиком для емкости с образцом, кольцом и сосудом для образца. Данные требования полностью выполняются в [тензиометрах KRÜSS](#). В стандарте ГОСТ Р 55413 приводится изображение [тензиометра K6](#), но на практике пользователи используют [тензиометр K20](#) и [тензиометр K100](#). Последние две модели тензиометров позволяют снизить влияние оператора на результат, т.к. измерения проводятся в автоматическом режиме. Кроме того, тензиометры K20 и K100 внесены в ГосРеестр СИ РФ.



Температура оказывает значительное влияние на физические свойства веществ, в частности, на поверхностное и межфазное натяжение. Для воспроизводства результатов необходимо по максимуму уравнивать условия проведения анализов. Например, согласно ASTM все измерения необходимо проводить при температуре образца 25°C. С этой целью производители оборудования оснащают свои приборы столиками с двойной рубашкой, через которую циркулирует жидкость заданной температуры. Температура циркулирующей жидкости поддерживается с помощью термостатов, например, [термостатов Huber](#).

С большой степенью уверенности качество смазок можно оценить с помощью измерения межфазного натяжения. Когда масло загрязняется, его МН снижается. Зачастую, чтобы понять причину ухудшения качества масла, необходимо сделать множество анализов, т.к. изменение межфазного натяжения будет указывать на наличие проблемы. Имея МН в качестве наглядного индикатора ухудшения качества масла, можно провести ряд анализов по выявлению истинных причин:

Окислительная стабильность

При окислении образуются растворимые и нерастворимые гидрофильные компоненты, многие из которых изменяют МН значительно раньше, чем кислотное число или вязкость масла. Например, когда поверхностное натяжение турбинного масла опускается до 15-20 мН/м, возникает опасность накопления осадка. Даже фотокаталитические реакции, проходящие под воздействием солнечного света, могут привести к снижению МН.

Загрязнение

Существует много загрязнителей, которые приведут к изменению МН. Они могут включать моющие агенты/мыла, пыль, химические реактивы, антифриз, обезжиривающие средства, ПАВ и т.п. Многие из этих загрязнителей нельзя обнаружить с помощью инструментальных методов анализа, например, спектрометров.

Вторичное загрязнение

Смазки могут выступить в качестве вторичных загрязнителей и вызвать изменение МН. Такое может случиться, например, когда смазки или моторные масла смешивают с гидравлическими жидкостями или моторными маслами. Смешение разных по своей природе смазок также может привести к изменению межфазного натяжения.

Истощение присадок

Истощение поверхностно-активных присадок (моющих, противоизносных присадок, ингибиторов коррозии и т.п.) может привести к увеличению МН. Однако исследования показали, что для масел лучше подходят жидкости с низкой концентрацией полярной присадки и высоким МН.

Количественное определение межфазного натяжения новых и использованных масел требуется не всегда. Можно воспользоваться визуальными методами: например, растекание масла по стеклянной поверхности или поднятие по капилляру. В российской системе сертификации качества трансформаторного масла такой показатель, как межфазное натяжение на границе с водой, не стандартизируется, но это один из наиболее простых и наглядных индикаторов качества продукта, который вот уже почти 10 лет используется в международной практике.

Статья подготовлена на основе:

1. ASTM D971-99a Standard Test Method for Interfacial Tension of Oil Against Water by the Ring Method,
2. ASTM D2285-99 Standard Test Method for Interfacial Tension of Insulating Oils of Petroleum Origin Against Water by the Drop-Weight Method;
3. J.Fitch The surface tension test - Is it worth resurrecting? Practicing oil analysis magazine (www.practicingoilanalysis.com);
4. Материалов фирмы KRUSS GmbH.
5. СТО 56947007-29.180.010.070-2011 Методические указания по определению поверхностного натяжения трансформаторных масел на границе с водой методом отрыва кольца (Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС»).
6. ГОСТ Р 55413-2013 Масла нефтяные изоляционные. Определение межфазного натяжения масло-вода методом отрыва кольца

Компания ООО «СинЭкс» - официальный представитель KRUSS в РФ. Мы можем сделать тестовые испытания образцов на тензиометре K20 или приборе для измерения краевого угла DSA25E.

