

# Жидкостные термостаты для измерения кинематической вязкости

**Матис Ван дер Спек (Matthijs van der Spek)**

Tamson instruments bv, Cobaltstraat 3, 2718 RM Zoetermeer, Нидерланды  
*перевод с английского*

## Вязкость

Вязкость является важнейшим параметром, характеризующим свойства жидкостей, газов и иногда даже твердых веществ. Вязкость измеряют наряду с другими параметрами, определяющими качество продукта. Без измерения вязкости не обойтись при необходимости охарактеризовать свойства любого потока, будь то транспортировка жидкостей, исследовательская работа или контроль качества.



*Термостаты для измерения вязкости Tamson:  
TV2000, TV4000 и TV7000.*

*Компания Tamson в течение десятилетий  
является лидером на мировом рынке приборов  
для определения кинематической вязкости*

Вязкость – одна из важнейших физических характеристик смазочных масел. Ее важно тщательно контролировать, поскольку она определяет работоспособность и срок службы оборудования. Вязкость можно коротко определить как характеристику внутреннего трения жидкости или ее склонности течь.

В настоящее время многие производители рассматривают вискозиметры как важнейший элемент своих исследовательских программ и систем контроля качества продукции. Это связано с тем, что измерение вязкости часто оказывается самым быстрым, точным и надежным способом определения наиболее важных параметров, влияющих на качество продукта.

В физике выделяют несколько типов жидкостей. Есть ньютоновские жидкости (кривая зависимости скорости деформации от приложенного напряжения проходит через начало координат; вязкость таких жидкостей зависит только от температуры и не зависит от градиента скорости) и неньютоновские (когда вязкость меняется в зависимости от прилагаемого напряжения).

Определяют два вида вязкости:

- ◆ динамическую (абсолютную) и
- ◆ кинематическую.

Знание вязкости необходимо для определения режима хранения, перекачивания или инжектирования жидкостей и очень важно при определении смазывающей способности масел.

## Принципы измерения вязкости

Для измерения кинематической вязкости разработано много приемов, каждый из которых рассчитан на определенные условия измерения и определенную жидкость. Поэтому выбрать нужный прибор из множества предлагаемых на рынке - непростая задача. Имеются приборы очень простые и весьма сложные, от требующих подсчета числа секунд при стекании жидкости по палочке до сложного, полностью автоматизированного оборудования. Поэтому будущему пользователю следует соединить свои представления о течении жидкостей с опытом производителей оборудования.

Согласно стандарту ASTM D445, образец масла вводится в капилляр вискозиметра, который затем опускается в нагреваемый до определенной температуры термостат. Время, которое требуется для перетекания масла из одного участка капилляра в другой, характеризует кинематическую вязкость.

Вязкость рассчитывают по времени и константе вискозиметрической трубки. Измеряют время протекания жидкости между двумя точками, отмеченными на трубке. Расчет ведется по следующему уравнению:

$$v = C \times t$$

Здесь  $v$  – кинематическая вязкость в сантистоксах (сСт, cSt); 1 сСт = 1 мм<sup>2</sup>/с;  $C$  – константа трубки,  $t$  – время протекания жидкости между двумя точками (в секундах). Используются вискозиметрические трубки разных типов, как описано в стандарте ASTM D446.

## Последствия нестабильности температуры термостата

В стандарте ASTM D445 описаны методы измерения кинематической вязкости прозрачных и мутных жидкостей. В разделе 6 дана спецификация оборудования, необходимого для измерения кинематической вязкости, – вискозиметров, держателей, термостатов, термометров и таймеров.

В разделе 6.3.1 стандарта ASTM D445 приведены требования к постоянству температуры термостата. При измерениях вязкости методом истечения жидкости температура должна поддерживаться постоянной, причем в диапазоне 15 – 100°C отклонения температуры вдоль вискозиметрической трубки или между разными трубками не должны превышать 0.02°C. При измерениях вне указанного интервала температур отклонения от заданной температуры должны лежать в пределах ±0.05°C. Таким образом, ASTM допускает определенную нестабильность температурного поля. Проанализируем, как отразится на значениях вязкости изменение температуры термостата всего лишь на 0.02°C.

Номер образца	1	2	3	4	5	6
Время, с	132.43	132.69	131.81	131.76	132.79	132.14
Мин. темп., °C	49.166	49.177	49.172	49.173	49.177	49.162
Макс. темп., °C	49.193	49.204	49.200	49.202	49.201	49.198
Разность	-0.027	-0.027	-0.028	-0.029	-0.024	-0.036
Средн. темп., °C	49.178	49.185	49.190	49.184	49.192	49.171

Таблица 1

Мы проанализировали 6 образцов с помощью вискозиметра Ubbelohde, имевшего константу трубки 0.009021. Время измеряли с помощью автоматической головки с двумя оптическими ИК-сенсорами. Результаты шести проведенных испытаний даны в табл. 1. Во втором ряду приведено время истечения в секундах, в рядах 3 и 4 – минимальная и максимальная температура во время измерения, а в ряду 5 – их разность. В ряду 6 дана средняя температура термостата во время испытания.

	сСт	Отклонение	Температура, °C	Отклонение
	1.188607	99.538	40.184	100.002%
	1.194651	100.044%	49.178	99.990%
	1.196996	100.240%	49.185	100.003%
	1.189058	99.575%	49.190	100.014%
	1.197899	100.316%	49.192	100.017%
	1.192035	99.825%	49.171	99.976%
Среднее	1.194128		49.183	

Таблица 2

В таблице 2 приведены значения кинематической вязкости, рассчитанные по уравнению  $v = C \times t$ . Так, для первого образца значение  $v$  составляет

$$0.009021 \times 132.43 = 1.194651$$

Один из результатов разрешается отбросить; в данном случае отброшены результаты испытания № 4. Среднее значение в табл. 2 рассчитано по 5 оставшимся испытаниям. Отклонение рассчитывали путем деления значения  $v$  на среднее по всем 5 испытаниям, результат умножали на 100%.

сСт	Отклонение	Температура, °C	Отклонение
1.197899	100.316%	49.192	100.017%
1.192035	99.825%	49.171	99.976%

Таблица 3

Табл. 3 представляет собой часть табл. 2. Разность температур составляет  $49.192 - 49.171 = 0.021^\circ\text{C}$ , а отклонение результата:  $100.316\% - 99.825\% = 0.491\%$ ! На основании этого эксперимента можно сделать вывод, что изменение температуры всего лишь на  $0.02^\circ\text{C}$  (в пределах, установленных стандартом ASTM D445) может привести к погрешности значения вязкости, равной 0.5%.

## Последние усовершенствования

В связи с вышеизложенным отдел разработок компании Tamson начал создавать термостат на основе последних технологий. Задачей было создание термостата с наилучшей стабильностью температуры, чтобы получать наиболее точные значения вязкости. Недавно разработки завершились. Термостат Tamson Viscosity имеет вместимость 12 л и стабильность не хуже  $\pm 0.005$  градуса. Такая стабильность поддерживается при использовании относительно небольшого объема жидкости (всего лишь 12 л). Насос перемешивает жидкость не в горизонтальной, а в вертикальной плоскости. Это означает, что при помещении в термостат двух вискозиметрических трубок одинакового типа и размера рядом друг с другом их температура на одной и той же высоте будет одинаковой.

С термостатом TV12 было выполнено 4 измерения вязкости (методика была аналогична вышеописанной). Результаты приведены в табл. 4 и 5.

Номер образца	1	2	3	4
Время, с	130.120	130.740	130.720	130.770
Мин. темп., °C	49.196	49.195	49.197	49.194
Макс. темп., °C	49.200	49.198	49.201	49.199
Разность	-0.004	-0.003	-0.004	-0.005
Средн. темп., °C	49.198	49.198	49.198	49.198

Таблица 4

	сСт	Отклонение	Температура, °C	Отклонение
	14424.12	99.642%	49.198	100.0007%
	14492.85	100.117%	49.197	99.9980%
	14490.63	100.101%	49.199	100.0024%
	14496.18	100.140%	49.197	99.9989%
Среднее	14475.95		49.198	

Таблица 5

сСт	Отклонение	Температура, °C	Отклонение
14492.85	100,117%	49,197	99,9980%
14490,63	100,101%	49,199	100,0024%

Таблица 6



*Новый термостат TV12*

## **Характеристики нового термостата для измерения вязкости Tamson TV12**

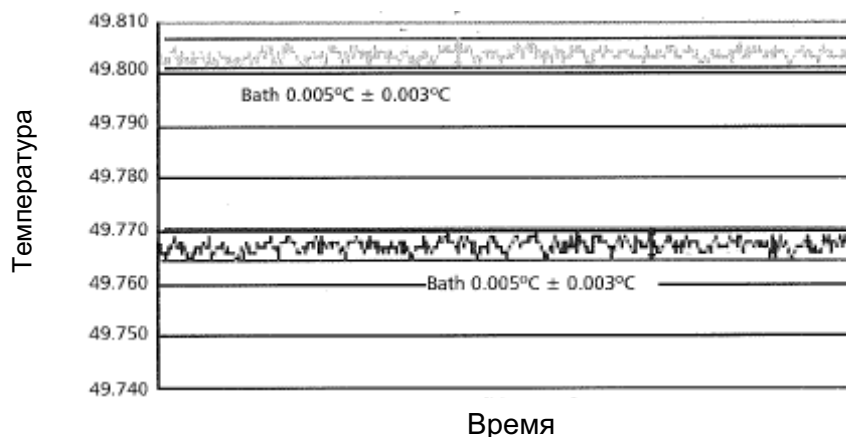
Вязкость смазочного масла – его важнейшая характеристика. Измерение кинематической вязкости можно проводить с высокой точностью с помощью последней разработки компании Tamson - термостата TV12.

В новом термостате TV12 снижены погрешности, вызываемые нестабильностью температуры. (Они на порядок ниже погрешностей, разрешенных стандартом ASTM D445.) Таким образом, термостаты компании Tamson для измерения вязкости, в которых использованы самые последние разработки, могут считаться лучшими в мире. Лаборатории, занимающиеся анализом масел, получили самый стабильный термостат, превосходящий по характеристикам требования стандарта ASTM.

Табл. 6 представляет собой часть табл. 5. Разность температур равна:  $49.197 - 49.199 = -0.002^{\circ}\text{C}$ , причем отклонение результата составляет  $100.117\% - 100.101\% = 0.015\%$ !

Из этих опытов ясно видно различие между измерениями в термостате с вариацией температуры  $0.02^{\circ}\text{C}$  и новым термостатом TV12 со стабильностью

не хуже  $0.005^{\circ}\text{C}$ . Нижеприведенные графики иллюстрируют стабильность температуры термостата TV12 во время двух испытаний.



*Зависимость температуры термостата от времени*

### **Резюме: измерение вязкости**

Вязкость - важная характеристика смазочных масел. Снижение вязкости обычно означает загрязнение системы смазки растворителем или хладагентом. Существенное ее превышение обычно означает загрязнение, попадание в систему более вязкого продукта или окисление масла. Стандарт ASTM требует, чтобы при рабочей температуре термостата от  $15$  до  $100^{\circ}\text{C}$  стабильность температуры была не хуже  $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ . Время истечения жидкости измеряется между двумя точками стеклянного капилляра. Вязкость рассчитывается с использованием константы вискозиметрической трубки и времени истечения.

### **Резюме: нестабильность температуры**

Нестабильная температура термостата драматически влияет на результат измерения даже при соблюдении требований стандарта ASTM D445. Эта погрешность может быть минимизирована при обеспечении стабильности температуры не хуже  $\pm 0.005^{\circ}\text{C}$ .

## Выводы

Характеристики нового термостата для измерения вязкости Tamson TV12.

- Полностью выполнен из нержавеющей стали;
- небольшой объем жидкости-теплоносителя (12 л);
- рабочая температура - от комнатной до 150°C (для работы ниже комнатной температуры по заказу поставляется охлаждающий блок);
- превышает требования стандарта ASTM D445;
- чрезвычайно стабильное поддержание температуры - лучше 0.005K (два нагревательных элемента);
- однородность температуры не хуже +0.005K;
- крышка с 4-мя отверстиями под вискозиметрические трубки;
- легкость управления термостатом и быстрый слив через кран;
- компактный дизайн, экономия места на лабораторном столе;
- встроенная лампа подсветки;
- интерфейс RS232;
- спираль охлаждения;
- высокая надежность;
- линия сброса жидкости при переливе;
- окошко имеет два слоя стекла, разделенных 20-мм воздушным промежутком, причем внешнее стекло легко отвинчивается для очистки;
- механически регулируемое перезапускаемое предохранительное термореле.

