

## Вискозиметры ротационные и реометры Brookfield



Реологические характеристики материалов (вязкость, текучесть, деформации) зачастую являются яркими показателями протекания процесса. От скорости течения продукта зависят сливные операции, время разгрузки реакторов и перекачки продуктов. Вязкость влияет на качество перемешивания, а, следовательно, и на качество конечного продукта, на мощность приводов насосов и т.п.

В процессе реакции реологические характеристики продукта можно контролировать непосредственно в объеме (потоке) или отбирать пробы. В первом случае используют контроллеры, которые позволяют следить за изменением вязкости на протяжении всего процесса. Эти данные подходят для контроля над процессом, но не для характеристики продукта. Для сравнения свойств продуктов со стандартом или между собой применяют ротационные вискозиметры и реометры.

Ротационные вискозиметры позволяют измерять вязкость продукта и напряжение сдвига, которое передается от жидкости на вал прибора. В базовой комплектации вискозиметры с системой «цилиндр в цилиндре» поставляются со стандартными шпинделями и ограничительной рамкой для измерения вязкости продуктов в емкости объемом 500-600 мл. Для работы с образцами меньшего объема необходимо использовать адаптеры.

Вискозиметры с системой «конус/плита» применяются для исследования очень малых объемов (0,5-2 мл) с очень высокой точностью. Имеется несколько рабочих диапазонов, зависящих от размера конуса, конусы притираются под размер чашки на заводе. Система конус/плита имеет термостатируемую рубашку.

Модель	Диапазон вязкостей мПа·с (сПз)	Скорости, об/мин	Число ступеней	Дисплей	Отображение данных					RS232	
					М %	В сПз	С с1	Н дПа	Т °С	Вывод	Управ.
<i>Система цилиндр в цилиндре</i>											
LVT	1* ... 2·10 <sup>6</sup>	0,3...60	8	A	+						
LVDV-E											
LVDV-II+	1* ... 1·10 <sup>6</sup>	0,01...200	54	Ц	+	+	+	+	+	+	
LVDV-III+	1* ... 1·10 <sup>6</sup>	0,01...250	2600	Ц	+	+	+	+	+		+
RVT	100 ... 8·10 <sup>6</sup>	0,5...100	8	A	+						
RVDV-E											
RVDV-II+	100 ... 40·10 <sup>6</sup>	0,01...200	54	Ц	+	+	+	+	+	+	
RVDV-III+	100 ... 40·10 <sup>6</sup>	0,01...250	2600	Ц	+	+	+	+	+		+
HAT	200 ... 16·10 <sup>6</sup>	0,5...100	8	A	+						
HADV-E											
HADV-II+	200 ... 80·10 <sup>6</sup>	0,01...200	54	Ц	+	+	+	+	+	+	
HADV-III+	200 ... 80·10 <sup>6</sup>	0,01...250	2600	Ц	+	+	+	+	+		+
<i>Система конус/плита</i>											
LVDV(II)+CP	0,2 ... 92·10 <sup>3</sup>	0,01...200	54	Ц	+	+	+	+	+	+	
RVDV(II)+CP	1,6 ... 983·10 <sup>3</sup>	0,01...200	54	Ц	+	+	+	+	+	+	
HADV(II)+CP	3 ... 1900·10 <sup>3</sup>	0,01...200	54	Ц	+	+	+	+	+	+	

\* - 1 мПа достигается с помощью UL адаптера

M – вращающий момент

B – вязкость

C – скорость сдвига

H – напряжение сдвига

T – температура

A – аналоговый (стрелочный) дисплей

Ц – цифровой дисплей

Для сравнения продуктов между собой или со стандартами, для проведения фундаментальных исследовательских работ рекомендуется использовать стандартные (SSA, UL или Thermosel). Данные адаптеры позволяют не только снизить объем образца до 8 мл и меньше, они имеют рубашку для стабилизации температуры, но, самое главное, у них фиксированный размер, относительно которого можно рассчитать напряжение и скорость сдвига. Все адаптеры могут использоваться со всеми вискозиметрами серии DV.

UL – адаптер малой вязкости

SSA – универсальный адаптер с рубашкой и термодатчиком

Thermosel – адаптер с электрообогревом (до 300°C)



### Диапазоны вязкостей для SSA-адаптера (мПа·с)

Шпиндель	SC4-18	SC4-31	SC4-34	SC4-25	SC4-21	SC4-27	SC4-28	SC4-29
Объем образца	8 мл	10 мл	10 мл	16 мл	8 мл	11 мл	12 мл	13 мл
Скорость сдвига	1,32N	0,34N	0,28N	0,22N	0,93N	0,34N	0,28N	0,25N
LVDV-II	1,5...30T	15...300T	30...600T	240...4.8M	-	-	-	-
RVDV-II	-	-	-	-	25...500T	125...2.5M	250...5M	500...10M
HADV-II	-	-	-	-	50...1M	250...5M	500...10M	1T...20M

T – тысяча

M – миллион

N = об/мин, например, 1,32N = 1,32 \* 10 (об/мин) = 13,2 с-1



Реометры, в отличие от вискозиметров, позволяют более детально изучить реологические свойства систем, особенно неньютоновских жидкостей и суспензий. Данные приборы позволяют проводить исследования как при постоянной скорости сдвига (как и вискозиметры), так и при постоянном напряжении сдвига.

Измерения при контролируемой скорости сдвига характеризует течение системы: изменение ее вязкости в зависимости от прикладываемых усилий и времени воздействия. Измерения при контролируемом напряжении сдвига позволяют определить статическое напряжение сдвига (предел текучести), т.е. минимальное усилие, которое необходимо приложить к системе, чтобы она потекла. Этот принцип работы позволяет исследовать деформационные и вязко-эластичные свойства.

Компания Brookfield выпускает несколько серий реометров: DV-III, R/S plus и YR-1. Приборы DV-III по сути являются вискозиметрами, т.к. позволяют работать только при постоянной скорости сдвига, но имеют очень много скоростей, поэтому их относят к реометрам. Реометры YR-1, наоборот, измеряют только при контролируемом напряжении сдвига, используются для определения предела текучести.

Реометры серии R/S plus – лучшие представители своего класса, позволяющие воссоздать реальные условия процесса от его начала до конца: имитация как высоких скоростей сдвига при перемешивании, перекачивании продукта, его распылении, так и низких скоростей и напряжений. Данная серия реометров воплощает в себе оба метода измерения.

### R/S-CC Реометр с коаксиальными цилиндрами

Коаксиальная геометрия (шпindel-камера) обеспечивают точный контроль скорости сдвига, давая полный реологический профиль. Маленький размер камеры обеспечивает хороший контроль температуры во время измерения.

Шпindel	Вязкость, мПа·с	Скорость сдвига, с-1	Напряжение сдвига, Па	Объем образца, мл
DG	1 ... 1·10 <sup>3</sup>	0 ... 5039	0 ... 67	17
CC48	5 ... 3,2·10 <sup>4</sup>	0 ... 5143	0 ... 206	70
CC45	20 ... 1,5·10 <sup>5</sup>	0 ... 1290	0 ... 195	100
CC25	120 ... 8·10 <sup>5</sup>	0 ... 1290	0 ... 1141	17
CC14	670 ... 5·10 <sup>6</sup>	0 ... 1290	0 ... 6502	3
CC8	3600 ... 3·10 <sup>7</sup>	0 ... 1290	0 ... 34833	0,5



### R/S-CPS Реометр с системой конус-плита

Геометрия конус-плита обеспечивает точный контроль скорости сдвига, маленький размер образца позволяет быстро проводить измерения и упрощает очистку. Быстрый и точный контроль температуры благодаря плите с элементами Пельтье обеспечивает построение зависимости вязкости от температуры за короткое время.

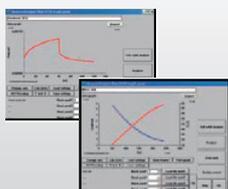
Конус	Вязкость, мПа·с	Скорость сдвига, с-1	Напряжение сдвига, Па	Объем образца, мл
CP25-1	300 ... 1,6·10 <sup>6</sup>	0 ... 6000	0 ... 12 223	0,08
CP25-2	500 ... 3,2·10 <sup>6</sup>	0 ... 3000	0 ... 12 223	0,15
CP50-1	30 ... 2·10 <sup>5</sup>	0 ... 6000	0 ... 1527	0,6
CP50-2	60 ... 4·10 <sup>5</sup>	0 ... 3000	0 ... 1527	1,2
CP75-1*	10 ... 6·10 <sup>4</sup>	0 ... 6000	0 ... 452	2,0
CP75-2*	20 ... 1,2·10 <sup>5</sup>	0 ... 3000	0 ... 452	3,9



### R/S-SST Реометр с крыльчатыми шпинделями (Анализатор суспензий)

Крыльчатые шпиндели позволяют легко измерять системы с твердыми включениями, глины, плотные пасты, характеризуя их вязко-эластичные свойства: предел текучести, модуль сдвига, ползучесть. Возможна оценка таких свойств как устойчивость, выделение жидкости, консистенции и структуры. Для получения кривой течения можно также использовать коаксиальные цилиндры.

Крыльчатый шпindel	Длина крыльев, мм	Размах крыльев, мм	Напряжение сдвига, Па
80-40	80	40	6 ... 200
V60-30	60	30	15 ... 505
V40-20	40	20	51 ... 1700
V30-15	30	15	120 ... 4000
V20-10	20	10	408 ... 13 600
V10-5	10	5	3276 ... 109 200



### Программное обеспечение

Программное обеспечение Wingather (DV-II+) и Rheocalc (DV-III+) позволяет не только автоматизировать сбор данных, но и следить за процессом on-line, графически обрабатывать данные, проводить математическое моделирование для расчетов пределов текучести (модели Бингама, Кассона, Оствальда, IPC Paste). Данные могут быть переведены в формат Excel.

Программа Rheo200 (R/S plus) также позволяет не только собирать и анализировать данные, но и программировать работу реометра, рассчитывать вязкость, тиксотропию и предел текучести. Дополнительный модуль Soft Solids Module позволяет исследовать вязко-эластичные свойства, ползучесть и остаточное напряжение.