

Министерство науки и высшего образования российской федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра энергоресурсосберегающих процессов в химической  
и нефтегазовой технологиях

## **ИЗМЕРЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТЕЙ НА РОТАЦИОННОМ ВИСКОЗИМЕТРЕ РВ-8**

Методические указания к лабораторной работе № 4  
для обучающихся направлений подготовки

18.03.01 Химическая технология; 20.03.01 Техносферная безопасность;  
18.03.02 Энерго-и ресурсосберегающие процессы в химической  
технологии, нефтехимии и биотехнологии всех форм обучения

Составители:  
Г. С. Михайлов  
Н. В. Тиунова  
А. А. Андрюшков

Утверждены на заседании кафедры  
Протокол № 3 от 02.11.2022  
Рекомендованы к изданию  
учебно-методической комиссией  
направления подготовки 18.03.02  
Протокол № 3 от 02.11.2022

Электронная версия  
находится в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2022

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение принципа действия, конструкции прибора РВ-8 и освоение методики измерения вязкости жидкости, а также предельного напряжения сдвига (предел текучести) высококонцентрированных дисперсных систем.

Обучающийся должен выполнить необходимые измерения испытуемой среды и рассчитать динамический коэффициент вязкости смазочного масла.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

**Вязкость** – представляет собой свойство жидкости (газа) сопротивляться сдвигу или скольжению ее слоев. Представим себе слой жидкости, находящийся между двумя параллельными пластинами, как показано на рис. 1.

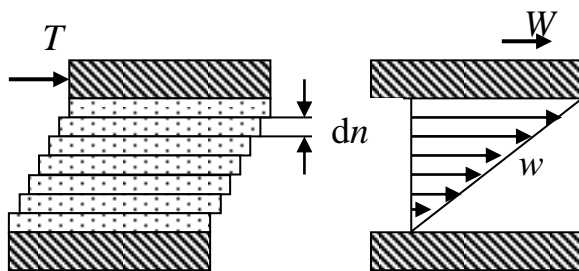


Рис. 1. К пояснению эффекта вязкости жидкости

Приложим касательную силу  $T$  для того чтобы перемещать верхнюю пластину с постоянной скоростью  $W$ . Опыт показывает, что жидкость прилипает к обеим пластинам, а, следовательно, около нижней пластины скорость жидкости стремится к нулю и на стенке  $w_{\text{ст}} = 0$ , а у верхней – скорость

жидкости равна скорости движения пластины  $w_{\text{ст}} = W$ . Очевидно, в жидкости возникнут, и будут существовать касательные напряжения между отдельными её слоями.

Весь слой жидкости расположенный между пластинами, можно представить состоящим из бесконечно большого числа элементарных слоев толщиной  $dn$  каждый. Экспериментальными исследованиями установлено, что касательная сила  $T$ , которую надо приложить для сдвига, тем больше, чем больше градиент скорости  $dw/dn$ , характеризующий изменение скорости, приходящиеся на единицу расстояния по нормали между слоями. Кро-

ме того, сила  $T$  пропорциональна площади соприкосновения  $V$  слоев. Следовательно,

$$T = F\mu \frac{dw}{dn}, \quad (1)$$

где  $\mu$  – коэффициент пропорциональности называется динамическим коэффициентом вязкости. В системе СИ измеряется в Па·с. Кинематический коэффициент вязкости определяется как  $\nu = \mu / \rho$  и измеряется в системе СИ в м<sup>2</sup>/с.

Возникающая внутри жидкости сила сопротивления равна приложенной силе  $T$  и направлена в противоположную сторону. Отношение этой силы к поверхности соприкосновения слов обозначается  $\tau$  и называется напряжением внутреннего трения или напряжением сдвига

$$\tau = -\mu \frac{dw}{dn} \text{ или } \tau = -\nu \frac{dw}{dn}. \quad (2)$$

В форме этого уравнения обычно выражают закон внутреннего трения Ньютона, согласно которому – **напряжение внутреннего трения, возникающее между слоями жидкости при её течении прямо пропорционально градиенту скорости**. Знак минус показывает, что  $\tau$  тормозит течение. Следовательно, жид-

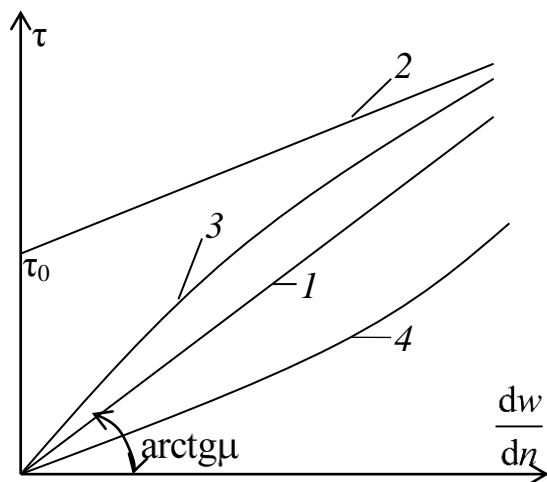


Рис. 2. Зависимости между напряжением  $\tau$  и скоростью сдвига:

- 1 – ньютоновские жидкости;
- 2 – бингамовские пластичные жидкости;
- 3 – псевдопластичные жидкости;
- 4 – дилатантные жидкости.

кости называют **ньютоновскими**, если касательное напряжение прямо пропорционально градиенту скорости. Жидкости с переменным коэффициентом пропорциональности между касательным напряжением и градиентом скорости называют **неньютоновскими**. Эти жидкости изучает наука реология. Закономерности движения неньютоновских жидкостей имеют ряд особенностей. Для обычных,

или ньютоновских, жидкостей зависимость между напряжением сдвига  $\tau$  и градиентом скорости  $dw/dn$  выражается, согласно (2), прямой проходящей через начало координат, с тангенсом угла наклона, равным вязкости  $\mu$  (рис. 2, линия 1).

Неньютоновские жидкости можно разделить на три группы.

К *первой группе* относятся так называемые стационарные, неньютоновские жидкости. Для этих жидкостей (так же как у ньютоновских) градиент скорости не зависит от времени. Таковыми жидкостями являются бингамовские пластичные, псевдопластичные и дилатантные жидкости.

**Бингамовские пластичные жидкости** (рис. 2, линия 2) при малых напряжениях сдвига  $\tau$  лишь несколько деформируются и начинают течение только при увеличении  $\tau$  до некоторого значения  $\tau_0$ , называемого **пределом текучести**. К числу бингамовских пластичных жидкостей относятся очень густые суспензии, пасты и шламы.

**Псевдопластичные жидкости** (рис. 2, линия 3) и **дилатантные жидкости** (рис. 2, линия 4) начинают движение, как и ньютоновские, уже при самых малых значениях  $\tau$ , однако для этих жидкостей отношение напряжения сдвига к градиенту скорости, называемое **кажущейся вязкостью**, зависит от величины  $\tau$ . В качестве псевдопластичных жидкостей можно взять, например, растворы многих полимеров или суспензий с ассиметричными частицами. Дилатантные жидкости менее распространены, чем псевдопластичные, и обычно представляют собой суспензии с большим содержанием твердой фазы.

Ко *второй группе* относятся неньютоновские жидкости, у которых зависимость касательного напряжения от градиента скорости изменяется во времени. Для этих жидкостей кажущаяся вязкость определяется не только градиентом скорости, но и продолжительностью сдвига. В соответствии с характером влияния продолжительности сдвига на структуру жидкости в этой группе различают тиксотропные и реопектантные жидкости.

Для **тиксотропных жидкостей** с увеличением продолжительности воздействия постоянного напряжения сдвига структура разрушается и текучесть возрастает. Однако после снятия напряжения структура жидкости постепенно восстанавливается, и она

приобретает первоначальные свойства. К числу таких жидкостей относятся, например, многие краски, молочные продукты (простокваша, кефир) вязкость которых уменьшается при взбалтывании.

**Реопектантные жидкости** отличаются тем, что их текучесть с увеличением продолжительности воздействия напряжения сдвига снижается.

К **третьей группе** относятся **вязкоупругие**, или **максвелловские, жидкости**, которые движутся под действием напряжения  $\tau$ , но после снятия напряжения частично восстанавливают свою форму, подобно упругим твердым телам. Такими свойствами характеризуются некоторые смолы и вещества тестообразной консистенции.

Кажущиеся вязкости всех неньютоновских жидкостей обычно значительно превышают вязкость воды.

Вязкость каплевых жидкостей значительно снижается с возрастанием температуры. Вязкость газов, наоборот, увеличивается с ее повышением. При умеренном давлении вязкость газов практически от него не зависит, однако, начиная с некоторого давления, возрастает при его увеличении.

Причины различного влияния температуры на вязкость каплевых жидкостей и газов, а также отмеченного характера влияния давления на вязкость последних обусловлены тем, что вязкость газов имеет молекулярную природу, а вязкость каплевых жидкостей в основном зависит от сил сцепления между молекулами.

### 3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа выполняется на ротационном вискозиметре РВ-8. Ротационные вискозиметры применяются для измерения вязкости смазочных масел в области низких температур от  $+20^{\circ}\text{C}$  до  $-50^{\circ}\text{C}$ , жидкостей для гидросистем при температуре от  $-1^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$  и дизельных топлив при температуре от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ . Также прибор применяется для измерения вязкости битумов и аналогичных материалов в пределах температур от  $+20^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ .

Ротационный вискозиметр может служить для определения предельного напряжения сдвига (предел текучести) высококонцентрированных дисперсных систем.

Схема прибора представлена на рис. 3.

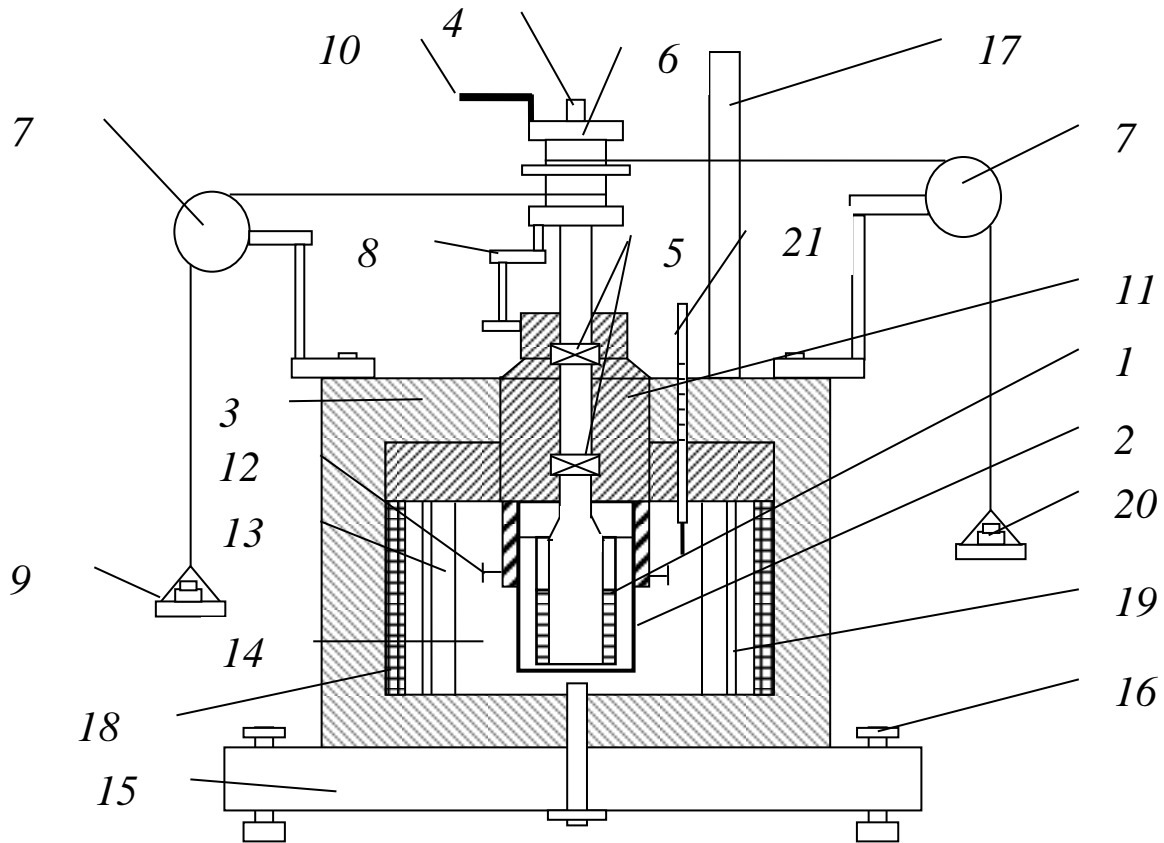


Рис. 3. Схема ротационного вискозиметра РВ-8:

1 – внутренний вращающийся цилиндр; 2 – внешний неподвижный цилиндр; 3 – термоизолирующая муфта; 4 – ось вращающейся системы; 5 – шарикоподшипник; 6 – шкив; 7 – блок; 8 – тормоз; 9 – подвески; 10 – устройство для регистрации числа оборотов шкива; 11 – муфта; 12 – штифт; 13 – мешалка; 14 – термостат; 15 – подставка; 16 – установочный винт; 17 – стойка; 18 – термоизоляция; 19 – отражатели; 20 – груз; 21 – термометр.

Испытуемая жидкость помещается между латунными цилиндрами вискозиметра 1 и 2. Каждый цилиндр снизу заканчивается полусферой, радиус которой равен радиусу цилиндра. Вращающаяся система вискозиметра состоит из вала 4 на подшипниковых опорах 5, внутреннего цилиндра 1, закрепленного на нижний конец вала и шкива 6 на верхнем конце вала. Вращение цилиндра 1 происходит под действием силы тяжести груза 18, уста-

навливаемого на подвески 9. Шкив 6 предназначен для передачи силы тяжести груза посредством нитей, которые через блоки 7 закреплены к подвескам 9. На каждую из подвесок помещается одинаковый груз. При применении малых грузов до 100 г пользуются обычным разновесом от технических весов.

Тормоз 8 служит для остановки и пуска в ход вращающейся системы прибора. По секундомеру фиксируется время опускания грузов до нижнего положения, а стрелка 10 регистрирует количество оборотов шкива. По этим данным рассчитывают число оборотов в единицу времени. Цилиндрический сосуд 2 вискозиметра входит верхней частью в выточку муфты 3 и путем поворота закрепляется в штифтах 12. таким образом, цилиндры вискозиметра оказываются строго соосными. Цилиндры вискозиметра во время измерения помещаются внутри термостата 13. Последний представляет собой термоизолированный сосуд. Стойка 17 предназначена для удержания основной части прибора в верхнем положении при замене испытуемой жидкости. Термостат крепится к подставке 14 с установочным винтом 15. Принцип действия прибора основан на законе внутреннего трения Ньютона (2).

В результате вращения цилиндра 1 относительно цилиндра 2 в испытуемой жидкости возникают касательные напряжения прямо пропорционально градиенту скорости. Сила, действующая на цилиндр 1 (сила тяжести груза), равна силе трения, с учетом сопротивления трения подшипников 5.

С учетом выше изложенного можно написать (при условии  $w = \text{const}$ )

$$(P - P_0) = F\mu \frac{\partial w}{\partial n}, \quad (3)$$

где  $P$  – сила тяжести груза, кг;  $P_0$  – сопротивление трения подшипников, кг;  $F$  – площадь поверхности контакта цилиндров,  $\text{м}^2$ .

Площадь  $F$  и высота слоя жидкости  $h$  учитывается константой вискозиметра  $K$ , полученной интегрированием уравнения (3):

$$K = \frac{Rg}{8\pi^2 \left( \frac{hr_1^2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{r_1^3 r_2^3}{r_2^3 - r_1^3} \right)}, \quad (4)$$

где  $R$  – радиус шкива  $b$ , м;  $r_1$  – радиус вращающегося цилиндра 1 и полусферы, м;  $r_2$  – внутренний радиус неподвижного цилиндра 2 и полусферы, м;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>.

Динамический коэффициент вязкости  $\mu$ :

$$\mu = K \frac{P - P_0}{N}, \text{ Па} \cdot \text{с}, \quad (5)$$

где  $P$  – груз, вращающий цилиндр вискозиметра ( $P$  – сумма двух равных грузов, подвешенных на обоих концах нити прибора), кг;  $P_0$  – сопротивление трения подшипников, кг;  $N$  – число оборотов цилиндра 1 в секунду. Сила трения подшипников достаточно мала и соответствует грузу 1-2 г (0,001-0,002 кг).

В неподвижный цилиндр вискозиметра 2 заливается каждый раз один и тот же объем испытуемой жидкости, и тогда уровень жидкости будет один и тот же. Для контроля высоты уровня жидкости на вращающемся цилиндре нанесены деления с точностью 1 мм. После окончания опыта, когда неподвижный цилиндр 2 снят, на цилиндре 1 видно до какого деления доходит уровень жидкости. Для прибора с радиусом цилиндра  $r_1 = 16,05 \cdot 10^{-3}$  м,  $r_2 = 19,05 \cdot 10^{-3}$  м и радиусом шкива  $R = 22,35 \cdot 10^{-3}$  м для случая, когда  $h = 70 \cdot 10^{-3}$  м (объем исследуемой жидкости, залитой между цилиндрами, равен  $30 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>), константа прибора  $K = 39,3$  м и формула принимает следующий вид:

$$\mu = 39,3 \frac{P - P_0}{N}, \text{ Па} \cdot \text{с}, \quad (6)$$

где  $P$  и  $P_0$  выражаются в кг.

Часто в серии опытов не удается получить всегда один и тот же уровень жидкости между цилиндрами. Константу прибора, в этом случае, можно вычислить для любого значения  $h$  по следующей формуле:

$$K = \frac{0,2192}{(6,83 \cdot 10^{-2} h + 7,9298 \cdot 10^{-4})}. \quad (7)$$

Предельное напряжение сдвига (предел текучести) дисперсных систем вычисляется:

$$\tau = K_1(P_1 - P_0), \text{ Па} \quad (8)$$

где  $P_1$  – минимальный груз, при котором начинается вращение внутреннего цилиндра вискозиметра, когда между цилиндрами прибора помещается пластичная дисперсная масса (консистентная смазка, глина, краска и т. д.), обладающая некоторым пределом текучести, кг;  $K_1$  – константа ротационного вискозиметра.

Для предельного напряжения сдвига:

$$K_1 = \frac{Rg}{2r_1^2 h \pi + \frac{hr_2^3}{2}}. \quad (9)$$

Для высоты уровня дисперсной системы  $h = 70 \cdot 10^{-3}$  м, константа  $K_1 = 16,4 \cdot 10^3$  м и формула (8) примет вид:

$$\tau = 16,4 \cdot 10^3 (P_1 - P_0). \quad (10)$$

Как и в случае измерения вязкости, определение предельного напряжения сдвига  $\tau$  можно производить при различной высоте  $h$  в пределах от  $(30 \div 80) \cdot 10^{-3}$  м. Тогда из уравнения (9) константу  $K_1$  можно вычислить по формуле:

$$K_1 = \frac{0,2192}{0,1618h + 0,2038}. \quad (11)$$

#### 4. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Перед измерениями основная часть прибора поднимается из термостата и закрепляется вверху стойки посредством винта. Поворотом цилиндра 2 освобождают его и вынимают из текстолитовой муфты 3. Снимают подвески 9. Далее следует подвесить на нити последовательно грузы 1,5; 2,0 и 2,5 г., чтобы убедиться, что трение подшипников  $P_0$  не превышает допустимой величины 2,5 г. Цилиндры 1 и 2 тщательно промывают бензином и высушивают, после чего в цилиндр 2 наливают определенное количество испытуемой жидкости ( $h = 4,5$  см). Затем верхнюю часть цилиндра 2 осторожно вставляют в выточку муфты 3 и закрепляют

путем поворота. После этого опускают цилиндры вискозиметра в термостат.

Определение вязкости производят при постоянной температуре. При измерениях вязкости устанавливают грузы весом 3-120 г, учитывая общий вес подвесок 8 г. Не рекомендуется класть на подвески грузы общим весом более 8 кг. Положив груз, отпускают тормоз 8 и измеряют с помощью секундомера время  $\tau$  и количество оборотов  $n$ , вращающейся системы вискозиметра. Далее тормоз запирают и, вращая шкив 6 в обратную сторону, поднимают грузы. Шкив 6 снабжен храповичком, так что при подъеме грузов цилиндр 1 вискозиметра не вращается. Произведя 3 повторных отсчета, вычисляют среднюю величину частоты вращения шкива  $N_{\text{ср}}$  (об/сек)

$$N_{\text{ср}} = \sum n / \sum \tau.$$

Затем проводят опыты еще с 5 различными грузами, увеличивающиеся по весу, и для каждого из них определяют частоту вращения. В заключение для контроля вновь производят наблюдения с первоначальным грузом. Результаты измерений заносят в журнал наблюдений (см. Приложение).

При измерениях предельного напряжения сдвига какой-либо дисперсной системы или масла, у которого при комнатной температуре образовалась структура, необходимо определить тот минимальный груз  $P_1$ , при котором начинается первоначальное смещение вращающейся системы вискозиметра. Для этого на нити прибора подвешивают постепенно все увеличивающиеся грузы до тех пор, пока не произойдет поворота шкива вискозиметра. Сначала производят ориентировочное определение величины  $P_1$ , а затем уточняют результат путем повторных измерений. Предельное напряжение сдвига вычисляют непосредственно по формуле (8), определив предварительно константу  $K_1$  по формуле (11).

## 5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Для данной температуры масла используя результаты опытов для пяти различных грузов  $P$  (учитывая общий вес подвесок 8 г), можно для каждого значения  $N_{\text{ср}}$  вычислить динамический

коэффициент вязкости по формуле (5). При этом трение подшипников  $P_0$  определяется в начале опытов, а константа вискозиметра  $K$  вычисляется по формуле (7).

По результатам опытов строят графики зависимости  $N_{\text{ср}}$  от  $P$ . На рис. 4 изображен для примера такой график для смазочного масла при температуре  $-17^\circ\text{C}$ . В соответствии с формулой (5) график получился прямолинейный.

Поскольку грузы достаточно велики (100-200 г), а трение подшипников мало, всего лишь 1-2 г., прямая проходит почти через начало координат. Если при изменениях маловязких жидкостей грузы не велики, порядка 5-10 г, то надо учитывать зависимость трения подшипников  $P_0$  от скорости вращения цилиндра ( $N$ , об/сек).

На основании прямой, представленной на рис. 4, можно непосредственно вычислить среднюю вязкость масла:

$$\mu = K \cdot \text{ctg} \alpha,$$

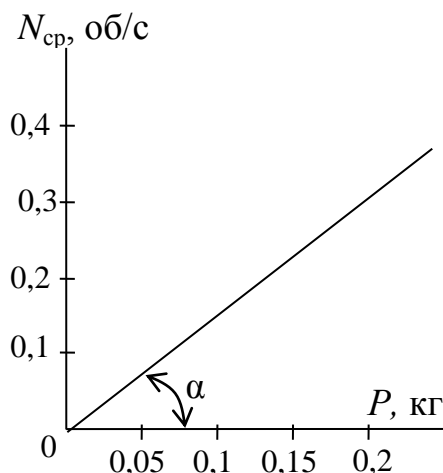


Рис. 4. График зависимости числа оборотов цилиндра вискозиметра от величины груза для смазочного масла при температуре  $-17^\circ\text{C}$ .

где  $\alpha$  — угол наклона прямой на рис. 4.

Практически для случая, изображенного на рис. 4, уровень масла был  $h = 65$  мм, соответственно константа прибора  $K = 42$ . Далее, взяв некоторое значение  $N_{\text{ср}}$ , например 0,2, найдем из графика на рис. 4 соответствующий груз  $P$  (0,134 кг) и вычислим вязкость по формуле (5):

$$\mu = 42 \frac{0,134 - 0,0012}{0,2} = 27,9 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Необходимо результаты измерений всегда представлять в виде графика зависимости  $N_{\text{ср}}$  от  $P$ , так как разброс точек на них сразу дает представление о правильности проведения опыта и о точности наблюдений. Кроме того, такие графики представляются очень важными потому, что они дают возможность выявить аномалию вязкости дисперсных систем. Действительно, для всех

жидкостей, подчиняющихся закону вязкости трения Ньютона (ньютоновских жидкостей), графики зависимости  $N$  от  $P$  получаются всегда прямолинейными. Дисперсные же системы обнаруживают на графиках нелинейные зависимости  $N$  от  $P$  (см. рис. 2). В заключении вычисляют по данным таблицы среднее значение динамического коэффициента вязкости  $\mu$  для данной жидкости.

## 6. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Перед работой все студенты обязаны пройти инструктаж по технике безопасности.

2. Все виды работ студенты выполняют только по указанию и под руководством преподавателя и лаборанта.

3. ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

- оставлять без присмотра находящийся в работе стенд;
- производить работы на оборудовании, не относящемся к данной работе.

## 7. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляется на листах формата А4 и должен содержать:

- 1) титульный лист установленной формы;
- 2) цель работы и краткие теоретические положения;
- 3) принципиальную схему лабораторной установки;
- 4) журнал наблюдений и таблицу расчетных данных;
- 5) выводы по работе.

Чертежи, схемы и таблицы следует оформлять в соответствии с ГОСТ 2105-95 «Общие положения».

## 8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем обусловлена вязкость жидкостей?
2. Объяснить природу возникновения вязкости газов.
3. Как изменяется вязкость жидкостей и газов при повышении температуры?

4. Что такое коэффициент вязкости? В каких единицах он измеряется?

5. В каких условиях наиболее достоверен способ определения вязкости жидкости?

6. Как определяется предельное напряжение сдвига дисперсных систем?

7. Что называют пределом текучести бингамовских пластичных жидкостей?

8. Дайте определение тиксотропных жидкостей.

9. В чем различие между реопектантными и тиксотропными жидкостями?

10. Чем отличаются механизмы внутреннего трения в жидкостях и газах?

11. Чем отличаются жидкости ньютоновские и неньютоновские?

12. Принцип действия ротационного вискозиметра РВ-8.

13. Какие способы определения вязкости жидкости вам известны?

14. Каково влияние на вязкость сгущенных суспензий температуры, конструкции твердой фаз, формы частиц твердой фазы?

## 9. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учеб. для вузов/ А. Г. Касаткин. – Изд.стер. – Москва : Альянс, 2014. – 752 с.

2. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учеб. пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков; под ред. П. Г. Романкова. – 12-е изд. – Москва : Альянс, 2005. – 576 с.

3. Айнштейн, В. Г. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: учебник: в 2 кн. / В. Г. Айнштейн, М. К. Захаров, Г. А. Носов и др.; под ред. В. Г. Айнштейна. – Москва : Логос; Высш. шк., 2002. – 1758 с.

4. Афанасьев, Ю. О. Измерение вязкости жидкостей на ротационном вискозиметре РВ-8 : методические указания по выполнению лабораторной работы № 4. / Ю. О. Афанасьев, Н. В. Тиунова, Г. С. Михайлов. – Кемерово, КузГТУ, 2009.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

## Журнал наблюдений

| Температура жидкости, $t =$ |                                |   | Уровень жидкости, $h =$       |                                      |   |
|-----------------------------|--------------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------------|---|
| № опыта                     | Количество оборотов шкива, $n$ | Сумма оборотов шкива за 3 опыта, $\sum n$ | Время опускания груза, $\tau$ | Сумма времени за 3 опыта $\sum \tau$ | Общий вес груза, $P$ (включая вес подвесок) |
|                             | об.                            | об.                                       | об.                           | сек                                  | кг, $10^{-3}$                               |
| 1/1                         |                                |   |                               |                                      |   |
| 1/2                         |                                |   |                               |                                      |   |
| 1/3                         |                                |   |                               |                                      |   |
| 2/1                         |                                |   |                               |                                      |   |
| 2/2                         |                                |   |                               |                                      |   |
| 2/3                         |                                |   |                               |                                      |   |
| 3/1                         |                                |   |                               |                                      |   |
| 3/2                         |                                |   |                               |                                      |   |
| 3/3                         |                                |   |                               |                                      |   |
| 4/1                         |                                |   |                               |                                      |   |
| 4/2                         |                                |   |                               |                                      |   |
| 4/3                         |                                |   |                               |                                      |   |
| 5/1                         |                                |   |                               |                                      |   |
| 5/2                         |                                |   |                               |                                      |   |
| 5/3                         |                                |   |                               |                                      |   |

## Таблица расчетных данных

| Сила трения подшипников, $P_0 =$ |   |                                       |                            |  |
|----------------------------------|---|---------------------------------------|----------------------------|--|
| № п/п                            | Частота вращения шкива, $N_{\text{ср}}$ | Результирующая сила трения, $P - P_0$ | Константа вискозиметра $K$ | Динамический коэффициент вязкости, $\mu$ |
|                                  | об/сек                                  | кг, $10^{-3}$                         |                            | Па·с                                     |
|                                  |   |                                       |                            |  |

Составители

Геннадий Сергеевич Михайлов  
Наталья Владимировна Тиунова  
Алексей Анатольевич Андриюшков

**ИЗМЕРЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТЕЙ  
НА РОТАЦИОННОМ ВИСКОЗИМЕТРЕ РВ-8**

Методические указания к лабораторной работе № 4  
для обучающихся направлений подготовки

18.03.01 Химическая технология; 20.03.01 Техносферная безопасность;  
18.03.02 Энерго-и ресурсосберегающие процессы в химической  
технологии, нефтехимии и биотехнологии всех форм обучения

Рецензент Е.Ю. Старикова

Подписано в печать 15.11.2022 г. Формат 60×84/16.  
Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.- изд. л. 0,7.  
Тираж \_\_\_\_ экз. Заказ \_\_\_\_.  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28  
Издательский центр Кузбасского государственного технического  
университета имени Т. Ф. Горбачева, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4 а