

## Лабораторная работа 1

### Определение вязкости растворов полимерных материалов.

#### Теоретическая часть:

Реология –это наука о деформации и течении материалов. К реологическим свойствам относят вязкость и текучесть. Вязкость –это внутреннее трение между слоями жидкости или газа, которое возникает когда слои движутся с разными скоростями. Вязкость ( $\eta$ ) является результатом межмолекулярного взаимодействия, и она тем выше, чем больше силы молекулярного притяжения. Поэтому вязкость полярных веществ всегда больше, чем неполярных.

**Кинематическая вязкость** - мера потока имеющей сопротивление жидкости под влиянием силы тяжести. Когда две жидкости равного объема помещены в идентичные капиллярные вискозиметры и двигаются самотеком, вязкой жидкости требуется больше времени для протекания через капилляр. Если одной жидкости требуется для вытекания 200 секунд, а другой - 400 секунд, вторая жидкость в два раза более вязкая, чем первая по шкале кинематической вязкости.

Размерность кинематической обычно используется сантистокс (сСт).  $1 \text{ сантиСтокс} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} = \text{мм}^2/\text{с}$ .

**Абсолютная (динамическая) вязкость**, иногда называемая **динамической или простой вязкостью**, является произведением кинематической вязкости и плотности жидкости  $\nu = \eta / \rho$ .

Абсолютная вязкость выражается в сантипуазах (сПуаз).  $1 \text{ сПуаз} = 1 \text{ мПа/с}$ .

В технических науках часто пользуются понятием **относительной вязкости**, под которой понимают отношение коэффициента динамической вязкости раствора к коэффициенту динамической вязкости чистого растворителя:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0},$$

+ где  $\mu$  — динамическая вязкость раствора;  $\mu_0$  — динамическая вязкость растворителя.

**Условная вязкость** — величина, косвенно характеризующая гидравлическое сопротивление течению, измеряемая временем истечения заданного объёма раствора через вертикальную трубку (определённого диаметра). Измеряют в градусах Энглера (по имени немецкого химика К. О. Энглера), обозначают — °ВУ. Определяется отношением времени истечения 200 мл испытываемой жидкости при данной температуре из специального вискозиметра ко времени истечения 200 мл дистиллированной воды из того же прибора при 20 °С. Условную вязкость до 16 °ВУ переводят

в кинематическую по таблице ГОСТ, а условную вязкость, превышающую 16 °ВУ, по определенной формуле.

Зависимость реологических свойств от различных факторов выражают графически в виде реологических кривых (кривых течения):  $\eta = f(P)$  или  $v = f(P)$ , где  $v$  – скорость сдвигового течения жидкости;  $P$  – напряжение сдвига (аналог – давление). Для жидкостей характерны два основных типа течения: ламинарное и турбулентное. Ламинарным называют течение жидкости в виде параллельных слоев, не перемешивающихся между собой. Примером ламинарно текущей жидкости может служить спокойная равнинная река. Турбулентное течение – это бурное течение, сопровождающееся образованием завихрений, воронок и взаимным перемешиванием слоев жидкости. Все реальные системы делят на жидко- и твердообразные. Жидкообразные системы проявляют способность течь при сколь угодно малом напряжении сдвига, как говорят, их предел текучести равен нулю. Такие системы в свою очередь подразделяют на ньютоновские и неньютоновские, т. е. на те системы, которые подчиняются и не подчиняются закону Ньютона. Закон Ньютона описывает зависимость градиента скорости течения  $dv/dx$  от величины  $P$ . Рассмотрим течение жидкости через капилляр. Около стенок капилляра из-за сил адгезии (адгезия – взаимодействие молекул жидкости с молекулами стенки сосуда) скорость течения равна нулю, она возрастает по мере удаления от стенок и максимальна в центре капилляра. Для ньютоновской жидкости профиль (эпюра) скоростей в таком капилляре будет параболическим.

#### Упруго-вязкие свойства жидкости



Для ньютоновских жидкостей вязкость в области ламинарного течения не зависит от напряжения сдвига и градиента скорости. Эти жидкости подчиняются и закону Пуазейля, который связывает объем протекающей через капилляр жидкости  $V$  за время  $t$  с вязкостью.

где  $K$  – константа, зависящая от геометрии капилляра, а  $P$  здесь – давление на конце капилляра. Закон Пуазейля позволяет характеризовать вязкость по времени истечения определенного объема жидкости через капилляр. Это – принцип действия капиллярных вискозиметров. Неньютоновские жидкости

проявляют некие аномалии (отклонения от закона Ньютона), заключающиеся в непостоянстве вязкости при изменении напряжения сдвига, что связано с особенностями их внутреннего строения. На рисунке приведены некоторые варианты кривых течения неньютоновских жидкостей. По характеру этих зависимостей их можно подразделить на псевдопластические, дилатантные и твердообразные. Для псевдопластических жидкостей характерно, что их вязкость растет с увеличением скорости течения (рис. 1, кривая 3) или напряжения сдвига. Кривая течения такой жидкости также проходит через начало координат, но идет ниже кривой течения ньютоновской жидкости. Растворы многих полимеров ведут себя подобным образом, что связано с проявлением эффекта зацепления макромолекул.

### Типы реологического поведения полимеров

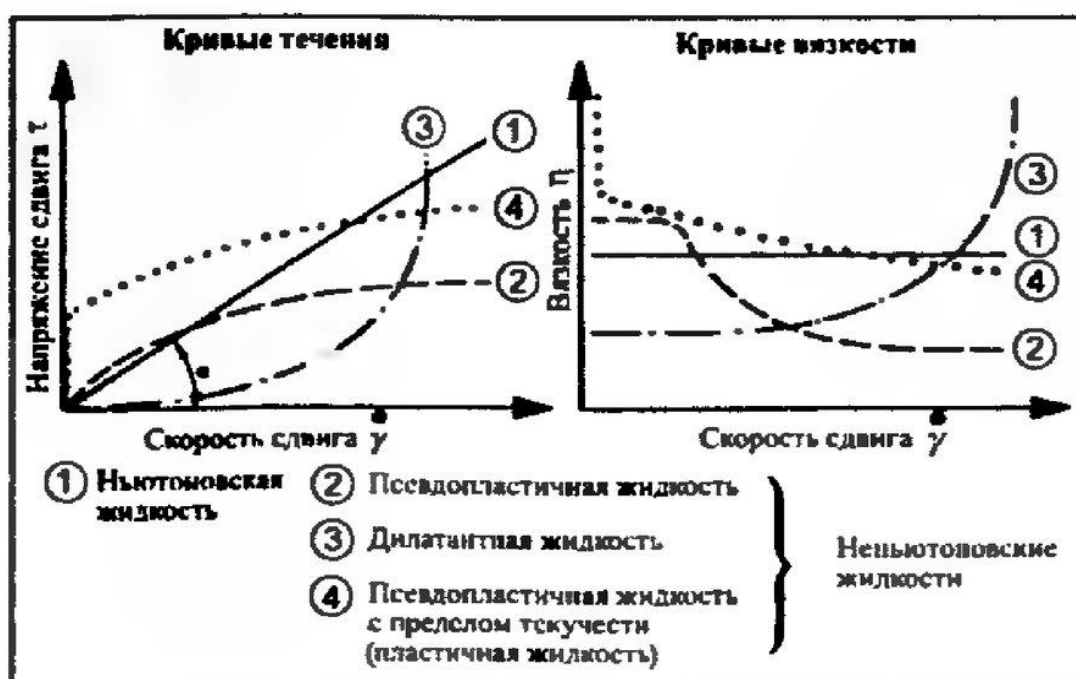


Рисунок. Кривые течения ньютоновской (1), дилатантной (2), псевдопластической (3) и твердообразной (4) жидкостей.

Вязкость  $\eta$ , полученную из уравнений Ньютона и Пуазейля, называют динамической вязкостью. Это размерная величина. Вместо нее на практике часто пользуются относительной вязкостью  $\eta_{\text{отн}}$  (отношение вязкости раствора к вязкости чистого растворителя при той же температуре) и удельной вязкостью  $\eta_{\text{уд}}$ , представляющей собой относительное увеличение вязкости растворителя за счет введения растворенного вещества. Относительная и удельная вязкость — безразмерные величины. Вязкость жидкостей легко определяется экспериментально. Одним из наиболее простых приборов является капиллярный вискозиметр, который представляет

собой мерную емкость, соединенную с капилляром. Жидкости из мерной емкости дают свободно вытекать через капилляр и измеряют время истечения. Согласно закону Пуазейля это время пропорционально вязкости.

**Вязкость растворов полимеров.**

Характерной особенностью растворов полимеров является их высокая вязкость даже при очень больших разбавлениях. Они подчиняются закону Ньютона только при самых малых концентрациях (0,1–0,01 вес. %). Такое поведение связано с особенностями строения ВМС. В растворе молекула полимера может принимать самые различные формы: от плотно упакованной глобулы до выпрямленной молекулы. При хорошем взаимодействии молекулы полимера с растворителем она принимает форму статистического клубка (представьте себе хаотично спутанную нитку). При этом форма клубка может изменяться при его попадании в поток с градиентом скорости. Кроме того, молекулы ВМС могут взаимодействовать друг с другом, образуя ассоциаты и легкоразрушаемые структуры. Наконец, молекулы полимера могут зацепляться друг за друга (как спутанные нитки) и такие зацепления разрушить уже достаточно трудно. При всем многообразии и неоднозначности поведения ВМС в растворах вязкость этих растворов зависит от молекулярной массы полимера, степени полимеризации, строения молекулы, концентрации растворов и др.

**Цель работы:** Определить зависимость вязкости от концентрации полимера и температуры.

### **Экспериментальная часть**

**Используемый прибор:** Вискозиметр ВЗ 246 представляет собой емкость конусообразного типа с открытым верхом. Изготавливается данный прибор из специального материала, который не влияет на скорость течения анализируемой пробы. В комплекте аппарата имеются три сопла с разными диаметрами отверстий. Принцип работы прибора заключается в измерении времени, за которое жидкость вытекает из воронки. Изначально в резервуар заливается точно известное количество анализируемой пробы, которое равно 100 миллилитрам, когда время определено по его значению отмечают вязкость по прилагаемому графику.



и

Основным преимуществом вискозиметров **ВЗ-246** является их простота в использовании.

Перед введением аппарата в эксплуатацию его необходимо откалибровать. Для этих целей используют стандартный образец - индустриальное масло с известным значением измеряемой величины. Стандартную калибровочную пробу заливают в резервуар лабораторного прибора и засекают время. Таким образом, проводят три испытания, меняя сопла. По результатам данных измерений выстраивают графики. На графике находят точку, которая соответствует времени истечения масла и сравнивают со значением из графиков, которые прилагаются к паспорту на прибор. Если значения совпадают, то **вискозиметр ВЗ-246** пригоден к работе. Следует учитывать, что результаты, полученные на вискозиметре ВЗ, являются приблизительными, а разница между двумя измерениями может достигать 3%.

Определение условной вязкости по вискозиметру типа ВЗ-246. Вискозиметр помещают в штатив и с помощью уровня устанавливают в горизонтальном положении. Под сопло вискозиметра ставят сосуд. Отверстие сопла закрывают пальцем, испытуемый материал наливают в вискозиметр с избытком, чтобы образовался выпуклый мениск над верхним краем вискозиметра. Наполняют вискозиметр медленно, чтобы предотвратить образование пузырьков воздуха. Избыток материала и образовавшиеся пузырьки воздуха удаляют при помощи стеклянной пластинки или алюминиевого диска, сдвигаемых по верхнему краю воронки в горизонтальном направлении таким образом, чтобы не образовалась воздушной прослойки.

Открывают отверстие сопла и одновременно с появлением испытуемого материала из сопла включают секундомер. В момент первого прерывания струи испытуемого материала секундомер останавливают и отсчитывают время истечения.

**Объекты исследований : Полимеры, их формулы, способы получения, свойства и применение.**

Для проведения опыта по определению зависимости вязкости полимера от концентрации готовят растворы полимеров с различной концентрацией (например: 1; 3; 5%). Опыты проводят, начиная с растворов с меньшей концентрацией. Для каждой концентрации опыт повторяют 3 раза. Для определения вязкости используют среднее арифметическое. По результатам опыта строят график зависимости вязкости раствора от концентрации полимера.

Для проведения опыта по определению зависимости вязкости раствора полимера от температуры раствор определенной концентрации помещают в водяную баню и при перемешивании доводят раствор до температуры (например: 60; 40; 20 °С), проводят быстрые измерения времени истечения раствора при каждой температуре. По времени истечения раствора, пользуясь графиком (приложение 2) находят вязкость раствора. По результатам опыта строят график зависимости вязкости раствора от температуры.

Примечание: За результат испытания принимают среднее арифметическое результатов не менее трех измерений времени истечения в секундах. Допускаемые отклонения отдельных определений времени истечения от среднеарифметического значения при проведении испытания одним исполнителем не должны превышать  $\pm 3\%$ , при проведении испытания разными исполнителями  $\pm 5\%$ .

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1** (справочное). Оптимальное время истечения из вискозиметра типа ВЗ-246 с соплами разного диаметра (ориентировочные показатели)

| Тип вискозиметра | Диаметр сопла вискозиметра, мм | Оптимальный диапазон времени истечения, с |
|------------------|--------------------------------|---|
| ВЗ-246           | 2                              | От 70 до 300                              |
|                  | 4                              | " 20 " 200                                |
|                  | 6                              | " 20 " 200                                |

Примечание. Допускается измерять вискозиметром с диаметром сопла 4 мм время истечения от 12 до 200 с при разбавлении материала до рабочей вязкости.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2** (справочное). Зависимость времени истечения (с) от вязкости (кв.мм/с) материала в вискозиметрах с различным диаметром сопла.

Зависимость времени истечения ( ) от вязкости (мм<sup>2</sup>/с) материала в вискозиметрах с различным диаметром сопла

