

УДК: 678.532.135

## МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЯЗКОСТИ ТЕРМОПЛАСТОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСТРУЗИИ

О.В. ПАХАРЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

*Статтю присвячено застосуванню різних методів вимірювання і регулювання в'язкості термопластів в процесі екструзії. Використання вбудованого віскозиметра постійної витрати в устаткування екструзії і комп'ютерних програм управління дає можливість регулювати в'язкість в процесі переробки термопластів. Приведений узагальнений алгоритм управління: температури, тиску, швидкості зрушення і дії, що управляє, на частоту обертання робочого органу*

Использование машин для переработки полимеров большой единичной мощности и производительности требует значительного снижения материальных затрат, а любое ухудшение свойств полимеров в процессе переработки очень часто приводит к невосполнимым затратам.

Одним из путей повышения надежности и качества полимерной продукции, регулирования отдельных показателей экструзионного оборудования, который включает затраты сырья, энергии и трудоемкость процесса, является использование устройств, обеспечивающих контроль и регулирование процессом переработки термопластов [ 1, 2 ].

Так, с целью направленного регулирования технологическим процессом переработки термопластов необходимо контролировать [3] и регулировать вязкость, как величину, которая непосредственно связана со структурой расплава полимера и учитывает влияние температуры, молекулярных характеристик, напряжения сдвига и добавок. Такое регулирование вязкости расплава позволяет обеспечить равномерный объемный расход, что играет решающую роль в обеспечении стабильных физико-механических свойств изделий.

Использование вискозиметра, датчиков температуры и давления, а также микропроцессорной системы позволяет повысить точность измерения вязкости и обеспечить не только контроль, но и регулирование технологических параметров переработки. В каждом конкретном случае при выборе вискозиметра необходимо учитывать условия термодинамического воздействия на расплав полимера рабочих органов пластмассоперерабатывающего оборудования так, чтобы они были идентичны.

### **Объекты и методы исследования.**

Для измерения вязкости расплавов термопластичных полимеров в процессе экструзии использовали метод измерения затрачиваемой мощности червячного пресса и встраиваемый в экструдер капиллярный вискозиметр постоянного расхода [3].

**Целью** данной работы было выбор методов измерения вязкости расплавов термопластов в процессе экструзии, позволяющих контролировать и регулировать вязкость в процессе переработки, для получения изделий высокого качества.

Одним из способов определения вязкости в процессе экструзии есть метод перевода затрачиваемой мощности в процессе экструзии термопластов.

Для этой цели используют ряд математических зависимостей, позволяющих произвести расчет вязкости из затрачиваемой мощности на процесс экструзии полимеров.

Мощность, которая подается от электродвигателя ( $N_{\text{экстр}}$ ) постоянного тока, позволяющего регулировать частоту вращения рабочего органа в широком диапазоне, к рабочему органу (шнеку) на

процесс экструзии рассчитывается [ 4 ] из выражения 1:

$$N_{\text{экстр.}} = N_{\text{з.д.}} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 , \quad (1)$$

где:  $N_{\text{з.д.}}$  – мощность, затрачиваемая электродвигателем в процессе переработки, кВт;  $\eta_1$ –коэффициент полезного действия (кпд) электродвигателя, зависящий от нагрузки и частоты вращения двигателя, 0,4–0,7 ;  $\eta_2$  – кпд терристорных преобразователей, 0,95 ;  $\eta_3$  – кпд редуктора, 0,95–0,97 ;  $\eta_4$  – кпд трущихся пар, 0,95–0,97.

Мощность, затрачиваемая нагревателями на процесс разогрева и поддержания необходимой температуры в процессе переработки [4] определяется из выражения 2

$$N_{\text{нагр.}} = 0,2 \cdot N_{\text{з.д.}} \quad (2)$$

Общее количество энергии ( $N_{\text{общ}}$ ), подаваемого к термопласту, находящегося в рабочих органах, определяется из выражении 3

$$N_{\text{общ}} = N_{\text{экстр.}} + N_{\text{нагр.}} \quad (3)$$

Выражение 4 показывает связь между затрачиваемой мощностью в процессе экструзии термопласта и его вязкостью

$$N_{\text{общ}} \sim \tau \cdot \gamma \sim \eta \cdot \gamma^2, \quad (4)$$

где  $\eta$  – вязкость расплава в зоне компрессии, т.е там, где подготавливается расплав для формования изделия, МПа;  $\gamma$  – градиент скорости в зоне компрессии,  $\text{с}^{-1}$ .

Вязкость в процессе экструзии термопластов определяется из выражения 5

$$\eta \sim k \frac{N_{\text{общ}}}{\gamma^2}, \quad (5)$$

где  $k$ – эмпирический коэффициент. для каждого полимера, имеющий свое значение.

Подставляя данное выражение 5 в компьютерную программу, через затрачиваемую мощность, непрерывно в процессе экструзии определяют вязкость расплава полимера.

Регулирование вязкости расплава позволяет обеспечить равномерность объемного расхода, что играет решающую роль в получении необходимых физико-механических свойств изделий .

Использование вискозиметра, датчиков температуры и давления и микропроцессорной системы позволяет повысить точность измерения вязкости и обеспечить не только контроль, но и регулирование технологическими параметрами переработки. В каждом конкретном случае при выборе вискозиметра необходимо учитывать условия термодинамического воздействия на расплав полимера рабочих органов пластмассоперерабатывающего оборудования так, чтобы они были идентичны [5, 6].

Выбор места установки вискозиметра в экструдере играет важную роль для регулирования процесса экструзии при переработке полимеров за счет поддержания определенного значения вязкости расплава. Для этого необходима идентификация значений вязкости в вискозиметре и на участке перед формующим инструментом – головкой. В этом случае определяют условие подобности вязкости в вискозиметре и в месте выхода полимера в головку. Конфигурация рабочего органа влияет на качество расплава, который имеет определенные характеристики на выходе из червяка. Вискозиметр, например, капиллярный [7] устанавливается в месте последнего витка зоны дозирования червяка, то есть там, где расплав подготовлен к подаче его в формующий инструмент. Угол установки выходного канала патрубка вискозиметра оценивается с учетом минимального сопротивления его выхода с одной стороны, а с

другой, принимаются во внимание технологические и конструктивные решения подключения вискозиметра. В качестве примера представлен капиллярный вискозиметр постоянного расхода, который может контролировать и управлять вязкостью в процессе переработки (рис.2).

На рис.2 представлен продольный разрез капиллярного вискозиметра для определения реологических характеристик полимеров с одновременным учетом входного эффекта. Капиллярный вискозиметр содержит помпу 3, реометрическую головку 9, датчик температуры 6, насос 4, два датчика давления 5, капилляры разной длины 7 и 8, электронный блок. Помпа 3 и реометрическая головка 9 стянуты шпильками. Помпа 3 представляет собой термостатируемый металлический цилиндр, в теле которого закреплен насос 4, приводимый в движение шаговым электродвигателем.

Бесконтактность и возможность получения низких с широким диапазоном регулирования скоростей насоса без применения понижающих редукторов, позволяет применять его в жестких условиях эксплуатации, характеризующимися высокими температурами и агрессивностью среды.

Ступенчатость движения шагового двигателя осуществляется с помощью электрического дробления шага, обеспечиваемого контроллером шагового двигателя. Контроллер шагового двигателя входит в состав побудителя расхода, с помощью которого можно изменять число оборотов насоса от 5 до 50 мин<sup>-1</sup> с шагом 1 мин<sup>-1</sup>, и соответственно, расхода расплава полимера. С помощью блока побудителя расхода на цифровом табло индуцируется скорость сдвига. Эта информация преобразуется в токовый сигнал 0–5 мА для передачи информации на ЭВМ.

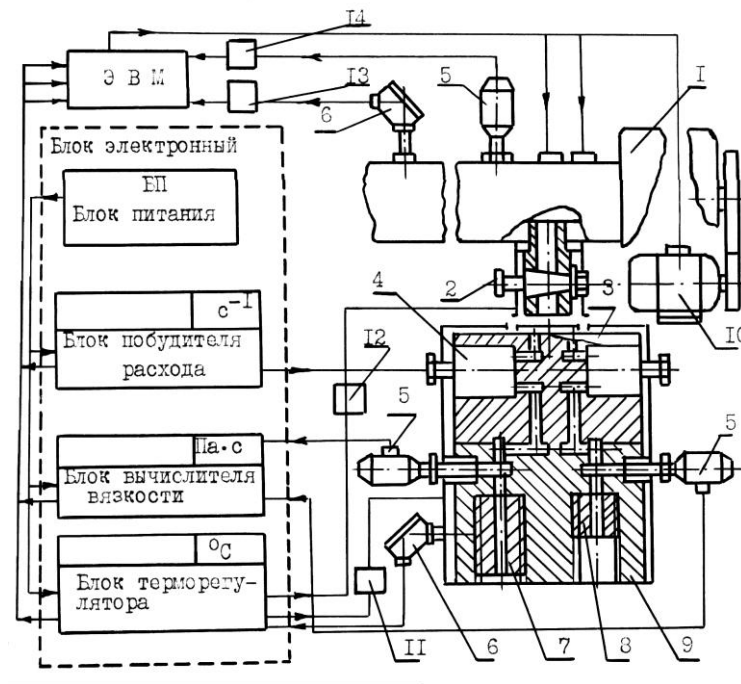


Рис.2. Схема встраиваемого капиллярного вискозиметра постоянного расхода:

1– экструдер; 2– вентиль; 3 – помпа; 4 – насос; 5– датчик давления; 6 – датчик температуры;  
7– капилляр; 8– капилляр; 9 – реометрическая головка; 10 – электродвигатель экструдера;  
11, 12, 13, 14 – устройства согласующие

Реометрическая головка 9 представляет собой термостатируемый металлический цилиндр, нижний торец которого позволяет установить параллельно сменные капилляры 7 и 8.

Расплав полимера из экструдера 1 под давлением через переходник 2 поступает в помпу 3 капиллярного вискозиметра. Затем насосом 4, выставленным на определенную скорость подачи, расплав подается в капилляры 7 и 8 реометрической головки 9. Параллельная установка капилляров 7 и 8 одного диаметра и разной длины, одновременно, позволяет повысить точность измерения вязкости (учесть входовой эффект) и сигналами датчиков 5, поступающими в блок вычислителя вязкости, индцировать на цифровом табло. Одновременно производится контроль температуры расплава датчиком температуры 6, сигналы от которого поступают в блок терморегулятора.

Электронный блок (рис.2) состоит из блока побудителя расхода, блока терморегулятора, блока вычислителя вязкости и блока питания.

Блок побудителя расхода управляет работой шагового электродвигателя, который приводит в действие дозирующий шестеренчатый насос. На лицевой панели блока находится кодовый переключатель, с помощью которого устанавливается необходимая частота вращения шестеренчатого насоса в пределах от 5 до 50 мин<sup>-1</sup>. В блоке побудителя расхода имеется плата вычислителя скорости сдвига, которая по расходу исследуемой среды, пропорционально заданной частоте вращения дозирующего насоса и по диаметру используемого капилляра производит расчет скорости сдвига. Скорость сдвига индцируется на четырехразрядном цифровом табло.

Блок терморегулятора управляет электронагревателями, задает необходимую температуру с помощью кодового переключателя, осуществляет контроль за температурой термопласта при помощи термометра сопротивления, который подключается посредством экранированного кабеля к плате соединительной. Температура индцируется на цифровом табло.

Блок вычислителя вязкости представляет собой арифметический модуль, который по сигналу о давлении, приходящем от датчика давления по экранированному кабелю к плате соединительной и по сигналу о скорости сдвига, приходящей из блока побудителя расхода, позволяет вычислить вязкость исследуемой среды. Предварительно на лицевой панели блока вычислителя вязкости кодовым переключателем выставляют диаметр и длину выбранного капилляра.

Блок питания необходим для преобразования переменного напряжения в постоянное, фильтрации и стабилизации его, и предназначен для питания всех блоков, входящих в состав электронного блока.

В электронно-вычислительной машине управляющие сигналы вырабатываются и подаются на электродвигатель 10, систему подогрева и охлаждения экструдера 1 после преобразования сигналов (из блоков побудителя расхода, вычислителя вязкости, терморегулятора) от датчиков температуры 6 и давления 5, установленных на капиллярном вискозиметре и экструдере 1 через устройства согласующие 11, 12, 13, 14. При необходимости повышения производительности выше, чем это достигается при оптимальных параметрах переработки (автогенном режиме) с ростом температуры расплава из ЭВМ подается управляющий сигнал на включение системы охлаждения экструдера 1 для поддержания заданной температуры расплава в установленных пределах.

Построение обобщенного алгоритма базируется на 3-х блоках управления: температуры, давления, скорости сдвига и управляющего воздействия на частоту вращения рабочего органа (рис.3). Вначале на экране монитора компьютера выводится видеодиаграмма или меню для выбора соответствующего полимерного материала.

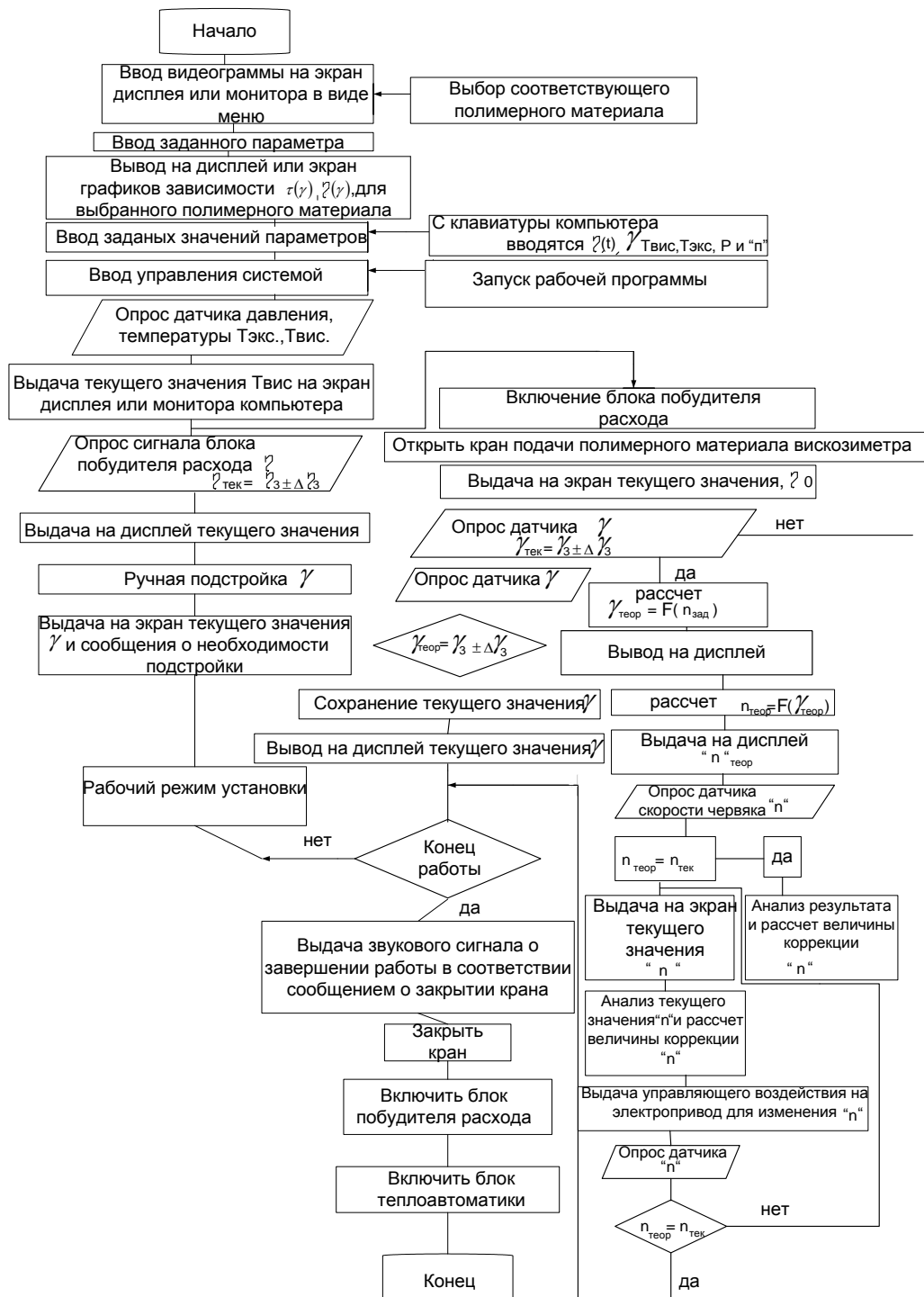


Рис.3. Схема обобщенного алгоритма управления процессом экструзии по вязкости расплава полимерного материала с помощью встроенного вискозиметра и компьютера

С клавиатуры компьютера набираем марку перерабатываемого материала [8]. Далее на экране монитора выводится зависимость  $\eta = f(\gamma)$  и ограничивается определенным диапазоном градиентов скорости ( $\gamma$ ), температуры и давления. При наличии такого сформированного графика вводим с клавиатуры заданные значения  $\eta(T)$ ,  $\gamma$ ,  $T_{экс.}$ ,  $P$  и  $n$ . Таким образом осуществляется ввод команды управления системой или запуск рабочей программы. В режимы диалога осуществляется опрос датчиков

давления, температуры, частоты вращения, скорости сдвига. В зависимости от отклонения осуществляется ручная подстройка указанных параметров до их необходимого уровня. В случае аварийного режима предусматривается выдача дискретного сигнала для аварийной сигнализации. Производится сравнение текущего значения  $T_{\text{экс}}$ . С технологическим необходимым значением  $T_{\text{экс}}$ . и выдается соответствующее решение, исходя из значений  $T_{\text{экс}} = T_3 + \Delta T_3$ . Опрос блока побудителя расхода с целью определения вязкости ( $\eta$ ), производится для включения блока побудителя расхода и открывается кран подачи расплава вискозиметра. Затем выдается на дисплей текущее значение вязкости и производится сравнение с заданным и принимается решение по коррекции вязкости. Одновременно производится контроль скорости сдвига с опросом датчика. Также выводится на дисплей текущее значение скорости сдвига, которое равно  $\gamma_{\text{тек}} = \gamma_3 + \Delta \gamma_3$ . Одновременно подается на дисплей и сообщение о необходимости подстройки скорости сдвига до заданного значения. После анализа значений скорости сдвига ( $\gamma$ ) и вязкости ( $\eta$ ) на экран выводится сообщение о необходимости закрытия крана побудителя.

#### **Выводы**

Рассмотренные методы измерения вязкости расплава термопластичных полимеров в процессе экструзии, прошедшие апробацию в производственных условиях. Приборы и системы управления позволяют не только измерить реологические характеристики расплава полимеров, но и регулировать вязкость за счет изменения параметров переработки в процессе экструзии с помощью компьютерной программы.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Bolder G., Langhorst H. Zahnrad-Schmelzepumpen iin der Extrusion // Kunststoffe. –1988. № 78. – S.27–33.
2. Пахаренко В.А., Зверлин В.Г., Кириенко Е.М. Наполненные термопласты. Техніка. –1986. –200 с.
3. Пахаренко А., Анохин В., Кириенко Е.М. Реологические характеристики некоторых полимеров, измеренных на различных вискозиметрах // Информатизация та нові технології. –1997. –№1. –С. 28–31.
4. Holton E.Harris. Extrusion Control. Hanser. 2004. – 153 s.
5. Пахаренко В.А., Кириенко Е.М., Пахаренко А.В. Определение энергозатрат пластмассоперерабатывающего оборудования. Киев. Энергетический Центр ЕС в Киеве. Программа TACIS. 1995. –45 с.
6. Пахаренко В.А., Яковлева Р.А., Пахаренко А.В. Переработка полимерных композиционных материалов. Киев. Воля. – 2006. –552 с.
7. Пахаренко О.В. Розробка методу регулювання реологічних властивостей термопластів у процесі екструзії. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня канд.технічних наук. Київ. 1997. –23с.
8. Пахаренко А., Анохин В., Кириенко Е.М. Реологические характеристики некоторых полимеров, измеренных на различных вискозиметрах // Информатизация та нові технології. 1997. –№1. –С.28–31.
9. Пахаренко В.А., Зверлин В.Г., Привалко В.П., Петрушенко Е.Ф., Демченко С.С., Гладченко А.Н. Теплофизические и реологические характеристики и коэффициенты трения наполненных термопластов. Киев. Наукова думка. –1983. –С.121.

Надійшла 19.01.2011