Пластическая масса представляет собой смесь полимера (нитраты целлюлозы) с пластификатором. В качестве полимера использовались нитраты целлюлозы (НЦ) со степенью замещения 2,63. В качестве пластификатора применялся этилкарбитол (ЭК) [1,2]. Массовое соотношение ЭК/НЦ =0,75. Представленная масса обладает следующими реологическими характеристиками – предельное напряжение сдвига t0 и пластическая вязкость (mr) или коэффициент жесткости при сдвиге [3]. Связь между касательными напряжениями (t) и скоростью деформаций (g) для вязкопластичной массы задается в виде реологической модели Шведова – Бингама t = t0 + mr*gr (1) Существует более общая модель Гершеля - Балкли [4] t = t0 + mr*grn (2) Таким образом, целью экспериментального реологического исследования является определение значений трех параметров (t0, mr и n), и выявление явной зависимости этих параметров от состава массы. При экспериментальном исследовании использовался метод двух капилляров, позволяющий исключить влияние входовых поправок. Масса загружается в изложницу диаметром DИ=2,5*10-2 м. Предварительно в изложницу устанавливается капилляр с заданными геометрическими параметрами. Внутрь изложницы поверх массы помещается обтюрирующее кольцо, а затем поршень. Вся сборка устанавливается на подвижную плиту пресса и после выдержки в течение определенного времени при заданной температуре приступают к выдавливанию массы через капилляр. Перемещение поршня записывается на диаграммной ленте, которая движется с постоянной скоростью. Задав определенную нагрузку на поршень (F), осуществляют экструзию массы через капилляр. Затем нагрузку ступенчато увеличивают до новой величины. В результате получается реограмма процесса экструзии вязкопластичной массы через капилляр. Рис. 1 - Реограмма истечения массы через капилляр На рис. 1 в качестве примера приведена такая реограмма. По оси абсцисс (X) откладывается перемещение поршня, по оси ординат (H) – перемещение ленты самописца, которое пропорционально времени экструзии при заданном усилии прессования. В дальнейшем участки реограммы, на которых усилие прессования выдерживалось постоянным, аппроксимируют прямой линией. Цифры на реограмме указывают усилие в Кн, при котором осуществлялась экструзия массы. Таблица 1 - Первичные данные реограммы F, Кн 4,3 4,8 5,4 6,0 X,см 0,4 0,6 1,1 1,4 H, см 2,95 2,9 3,3 2,7 F, Кн 6,5 7,0 7,5 8,0 X,см 1,3 1,6 2,2 3,3 H, см 2,2 1,5 1,4 1,5 В таблице 1 приведены первичные данные, измеренные по реограмме. Используя эти данные можно определить время, в течение которого усилие прессования оставалось постоянным (tП = H/UЛ, UЛ – скорость движения ленты самописца) и перемещение поршня в метрах S. Необходимо отметить, что перемещение поршня рассчитывается из соотношения (Si=kxi), где к - калибровочный коэффициент, xi –расстояние ходя поршня по реограмме. Для представленного эксперимента калибровочный коэффициент равен 0,24. Таблица 2 F, Кн 4,3 4,8 5,4 6,0 S*103,м 0,96 1,44 2,64

3,36 tП, с 14,75 14,5 16,5 13,5 F, Кн 6,5 7,0 7,5 8,0 S*103,м 3,12 3,84 5,28 7,92 tП, с 11 7,5 7 7,5 Эти данные позволяют рассчитать объемный расход массы через капилляр по формуле Q = pDИ2*S/(4*tП)), (3) где DИ – диаметр изложницы (поршня), и давление прессования (P) пересчитывается по формуле P = 4*103*F*/(p*DИ2) (4) Рис. 2 - Зависимость расхода от давления прессования вязкопластичной массы в двойных логарифмических координатах В итоге получаем промежуточный массив данных, который позволяет приступить к непосредственному расчету реологических констант исследуемой вязкопластичной массы. По данным расчетным данным строится реологическая кривая (Рисунок 2) в координатах (P-Q). Анализ рисунка 2 показывает, что экспериментальные данные удовлетворительно описываются зависимостью Q = 1,13648*10-43*P5,08175 (5) Q = 1,10197*10-57*P6,93287 (6) Соотношения типа (5), (6) необходимы для того, чтобы вычислить давление прессования для двух различных капилляров, но при одинаковом расходе массы. Из рисунка 2 следует, что эти вычисления можно проводить в области охватывающей экспериментальный диапазон расходов, а именно от Q = 5,89*10-8 м3/с до Q = 36,913*10-8 м3/с. Знание разности давлений прессования для короткого и длинного капилляров позволяет рассчитать касательное напряжение на стенке по формуле учитывающей влияние концевых эффектов tr = [(R/2)*(P1 – P2)]/(L1 – L2) (7) Здесь R радиус капилляров, L1 и L2 – размер длинного и короткого капилляров, соответственно. Универсальность формулы (7) состоит в том, что величина tr не зависит от входовой (куэттовской) поправки [5]. Действительно, при использовании двух капилляров одинакового радиуса, но различной длины, величина входовой поправки зависит от скорости истечения массы. Если проводить измерения при постоянном расходе массы, то и величина входовой поправки будет величиной постоянной. В этом случае tr = P1/{2[(L/R)1 + m0]} = P2/{2[(L/R)2 +m0]} (8), где индексы 1 и 2 относятся к капиллярам разной длины, m0 – входовая (куэттовская) поправка на эффективную длину капилляра. Исключив величину m0, получается соотношение (7). На рисунке 3 представлена зависимость касательного напряжения на стенке капилляра от объемного расхода массы. Из рисунка 3 следует, что исследуемая масса обладает ярко выраженным свойством пластичности, а именно для того чтобы расход массы через капилляр отличался от нуля необходимо приложить минимальную предельную нагрузку. Предельное напряжение сдвига (t0), для данной конкретной массы равно t0 = 1,430567935*105 Па. Следовательно, один из трех реологических параметров уравнения (1), либо уравнения (2) определен. Для определения оставшихся двух параметров (mr и n) необходимо знание функциональной связи между касательными напряжениями и скоростью деформации массы. Следовательно, необходимо получить конкретный вид зависимости t = f(gr). Рис. 3 - Зависимость касательного напряжения на стенке капилляра от расхода массы При вычислении скорости деформаций (gr) в качестве первого приближения рассчитывается скорость деформации (g0) в предположении, что исследуемая жидкость является ньютоновской. Тогда g0 = Q/pR3. Истинное значение скорости деформации на стенке капилляра (gr) вычисляется по формуле Рабиновича-Вайссенберга: gr = 3g0 + tr(dg0/dtr). Эквивалентной этому равенству является формула gr = g0 [3+ (dlgg0/dlgtr)]. (9) В соответствии с формулой (9) необходимо на основании обработки экспериментальных данных получить парные значения величин (g0 - tr). На рисунке 4 представлена зависимость g0 = f(tr) Для использования уравнения (9), как это следует из графика, представленного на рисунке 4, зависимость Log(g0) = f(Log[tr]) апроксимируется линейной зависимостью Log(g0) = 3,80774* Log[tr] - 20,14236. Первая производная для этой зависимости, в соответствии с уравнением (9) дает величину dlg(g0)/dlg(tr) = 3,80774 Следовательно, истинное значение скорости деформации примет вид gr = g0 [3+3,80774] = 6,80774 g0 = = 6,80774 Q/pR3. Рис. 4 - Зависимость логарифма скорости деформации от логарифма касательного напряжения сдвига на стенке Последнее соотношение дает возможность сопоставить истинную скорость деформации массы на стенке капилляра с касательным напряжением сдвига на стенке капилляра. Существенной отличительной особенностью течения вязкопластических масс типа Шведова - Бингама является тот факт, что скорость деформации исследуемой массы зависит не от величины касательного напряжения на стенке, а от разности касательного напряжения на стенке и предельным напряжением сдвига. Учитывая это замечание, для определения остальных реологических параметров модели, описываемой уравнением (1), либо уравнением (2), необходимо сопоставлять пары значений – скорость деформаций (gr) и разность между касательным напряжением и предельным напряжением сдвига (tr - t0). Эмпирическая зависимость скорости деформации от разности (tr - t0) описывается уравнением (tr - t0) = 11148,18*gr0,77616 Следовательно, реологические константы в уравнении (2) равны mr = 11148,18 n = 0,77616 Подводя итог проведенным исследованиям на гладком капилляре, реологическая модель для исследуемой массы имеет вид t = 1,430567935*105+ 11148,18*gr0,77616 Для определения параметра технологичности вязкопластичной массы необходимо провести аналогичные реологические исследования на капилляре с насечками на внутренней поверхности (рифленый капилляр).