

Нахождение линейного спектра (λ_i, η_{V_i}) и η_N :

$$\sum_{j=1}^n \left[\left[\frac{G'(\omega_j) - \sum_{i=1}^m \frac{\eta_{V_i} \lambda_i (\omega_j)^2}{1 + (\lambda_i)^2 (\omega_j)^2}}{G'(\omega_j)} \right]^2 + \left[\frac{G''(\omega_j) - \eta_N \omega_j - \sum_{i=1}^m \frac{\eta_{V_i} \omega_j}{1 + (\lambda_i)^2 (\omega_j)^2}}{G''(\omega_j)} \right]^2 \right] \Rightarrow \min$$

$$G'(\omega_j) \approx \sum_{i=1}^m \frac{\eta_{V_i} \lambda_i (\omega_j)^2}{1 + (\lambda_i)^2 (\omega_j)^2}, \quad G''(\omega_j) \approx \eta_N \omega_j + \sum_{i=1}^m \frac{\eta_{V_i} \omega_j}{1 + (\lambda_i)^2 (\omega_j)^2}. \text{ где } j=1 \dots n - \text{ порядковый номер экспериментальных точек,}$$

m – количество мод. В отличие от работы авторов Calina A. et al. *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* 2010. doi: 10.1016/j.jnnfm.2010.08.008) мы использовали относительные отклонения экспериментальных и расчетных значений динамических модулей, что позволило улучшить точность аппроксимации.

Модель Гиезекуса, набор α_i рассчитывается из условия минимизации:

$$F(\alpha_1, \dots, \alpha_m) = \sum_{k=1}^n \left[\frac{\tau_{k(\text{experiment})} - \tau_{k(\text{calc})}}{\tau_{k(\text{experiment})}} \right]^2 \rightarrow \min,$$

$$2b_i^2 \lambda_i \dot{\gamma} - 2b_i \lambda_i \dot{\gamma} \sqrt{b_i^2 - 4\alpha_i^2 \tau_i^2} + \left(\alpha_i \sqrt{b_i^2 - 4\alpha_i^2 \tau_i^2} + 8\alpha_i b_i \lambda_i \dot{\gamma} \tau_i + \alpha_i \sqrt{b_i^2 - 4\alpha_i^2 \tau_i^2} \right) \tau_i - 2\alpha_i \lambda_i \dot{\gamma} b_i^2 = 0.$$

Модель Фан-Тьен-Таннера (экспоненциальная форма) набор (ξ_i, ε_i) рассчитывается из условия минимизации:

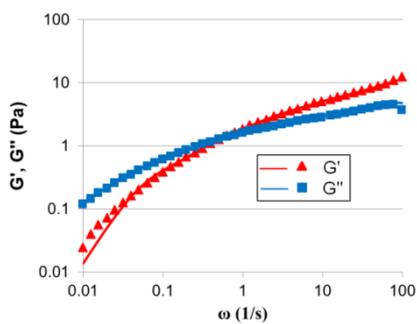
$$F((\xi_i, \dots, \varepsilon_i, \dots)) = \sum_{k=1}^n \left[\frac{\tau_{k(\text{experiment})} - \tau_{k(\text{calc})}}{\tau_{k(\text{experiment})}} \right]^2 \rightarrow \min,$$

$$\tau_k = \frac{\eta_k}{4\lambda_k(1-\xi_k)} \sqrt{(4(1-\xi_k) - \xi_k(3-\xi_k)x_k)x_k}.$$

Модель Ром-Ром (extended form) набор $(q_i, \lambda_{k,i}, \lambda_{s,i}, \alpha_i)$ рассчитывается из условия минимизации:

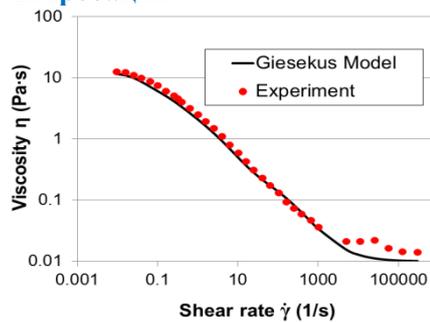
$$F(q_i, \dots, \lambda_{k,i}, \dots, \lambda_{s,i}, \dots, \alpha_i, \dots) = \sum_{k=1}^n \left[\frac{\tau_{k(\text{experiment})} - \tau_{k(\text{calc})}}{\tau_{k(\text{experiment})}} \right]^2 \rightarrow \min$$

$$\tau_k = \frac{3\mu_k}{\lambda_k \lambda_{s0k} \gamma} e^{\frac{2(\Lambda_k - 1)}{q}} \Lambda_k (\Lambda_k - 1), \text{ где } \Lambda_k = \sqrt{1 + \frac{\lambda_k I_1}{3\mu_k}}, \quad I_1 - \text{ первый инвариант.}$$



(a)

Аппробация



(b)

Рис. 1. Аппроксимация динамических модулей и кривой эффективной вязкости: точки – эксперимент [Calin A et al. 2010], сплошная – 4 mode Giesekus (наши результаты) (*Polyacrylamide 10.000 ppm*).

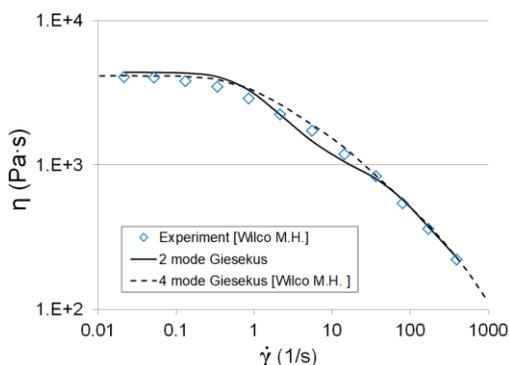


Рис.2. Аппроксимация эффективной вязкости (*DSM Stamydan LD 2008 XC43 LDPE melt*)

точки – эксперимент [Wilco M.H. et al. *J. Non-Newton. Fluid Mech.* 2002],
 пунктирная кривая – 4 mode Giesekus [Wilco M.H. et al. *J. Non-Newton. Fluid Mech.* 2002],
 сплошная – 2 mode Giesekus (наши результаты).

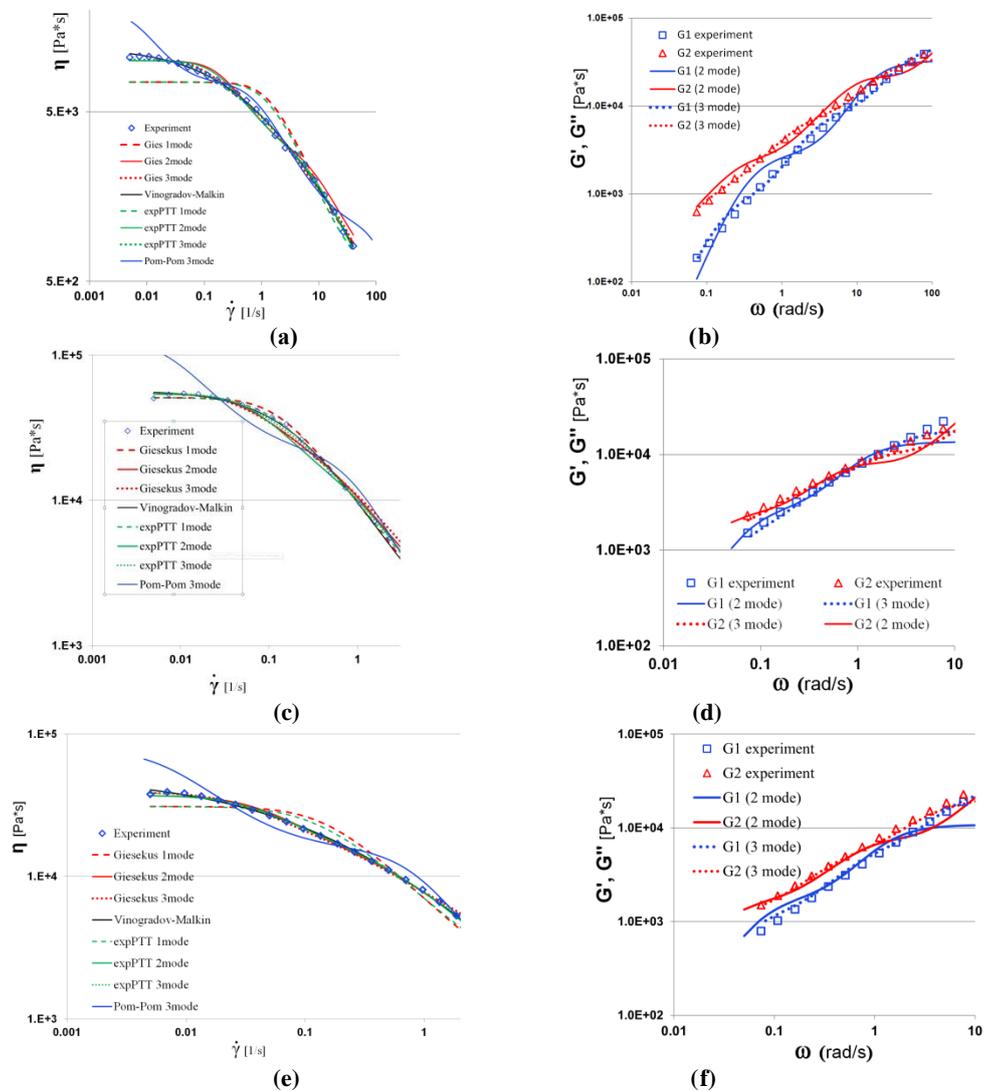


Рис. 3. Аппроксимация кривой вязкости (а, с, е) и динамических модулей (b, d, f)
a, b - Сэвелен 11306-075 ($T=140^{\circ}\text{C}$), с, d - 15313-003 ($T=200^{\circ}\text{C}$), е, f - ПЭ2НТ76-17 ($T=200^{\circ}\text{C}$)

Рис. 4. Морфология надмолекулярных структур исходного (а) и обработанного (б) γ – облучением (Co^{60} , 5kGy) ПЭ2НТ76-17

Таблица 1. Спектр времени релаксации

Сэвелен 11306-075 (LDPE) ($T=140^{\circ}\text{C}$)				Полиэтилен 15313-003 (LDPE) ($T=200^{\circ}\text{C}$)			Полиэтилен ПЭ2НТ76-17 (HDPE) ($T=200^{\circ}\text{C}$)		
i	λ_i (с)	η_{Vi} (Па·с)	η_N (Па·с)	λ_i (с)	η_{Vi} (Па·с)	η_N (Па·с)	λ_i (с)	η_{Vi} (Па·с)	η_N (Па·с)
1 mode									
l	0.3851	7000	479.011	5.1644	50000	1000	4.3362	30000	1000
2 mode									
l	0.0718	2147.35	358.316	1.01783	11141.9	1000	0.8887	8050.58	1000
2	2.7412	7500		15.701	42044.4		16.2096	28000	
3 mode									
l	0.0265	1056.87	200	0.4584	5589.01	800	0.181	3805.36	1000
2	0.4295	3180.14		2.9106	12326.3		1.7958	8147.8	
3	6.7526	5800		23.2169	36000		22.4724	27000	