

Технология производства и свойства кварцевых оптических волокон

Тема 8. Прочность оптических волокон

Закон Гука:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

где $\sigma = dF_{\text{упр}}/dS$ –напряжение, Н/мм²;

$F_{\text{упр}}$ – упругая сила, Н;

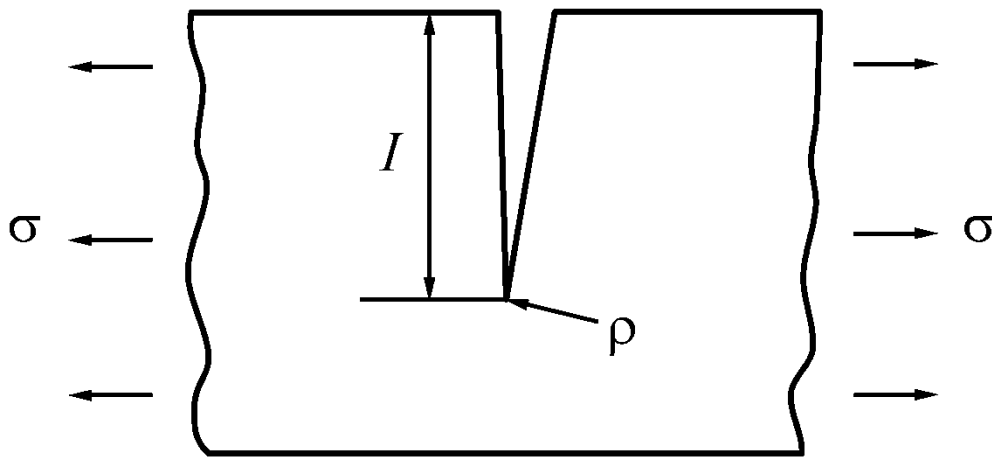
S – площадь сечения, мм²;

E – модуль Юнга при растяжении, равный для кварцевого стекла 72 000 Н/мм² (~ 73,5 ГПа);

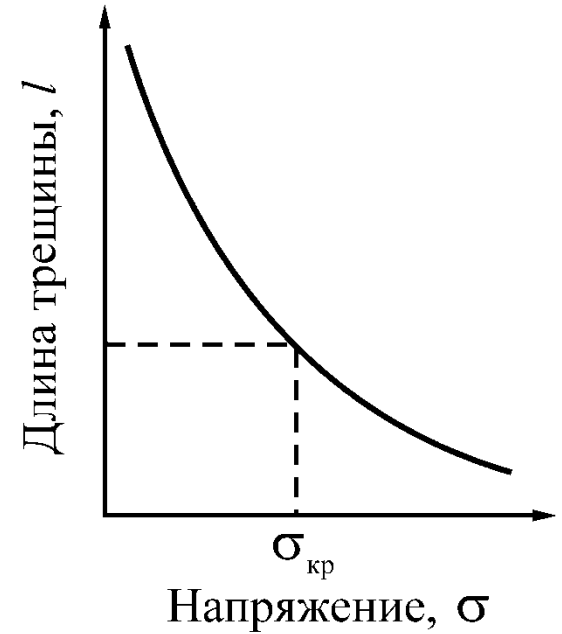
$\varepsilon = \Delta l/l$ – относительное удлинение образца длиной l .

$$\sigma_T = (1/4) \times E = 18000 \text{ Н/мм}^2 \text{ и } \varepsilon_T = 25\%$$

$$P_0 = (\pi/4) \times d_{\text{вол}}^2 \times \sigma_T \approx 200 \text{ Н} \approx 20 \text{ кгс}$$

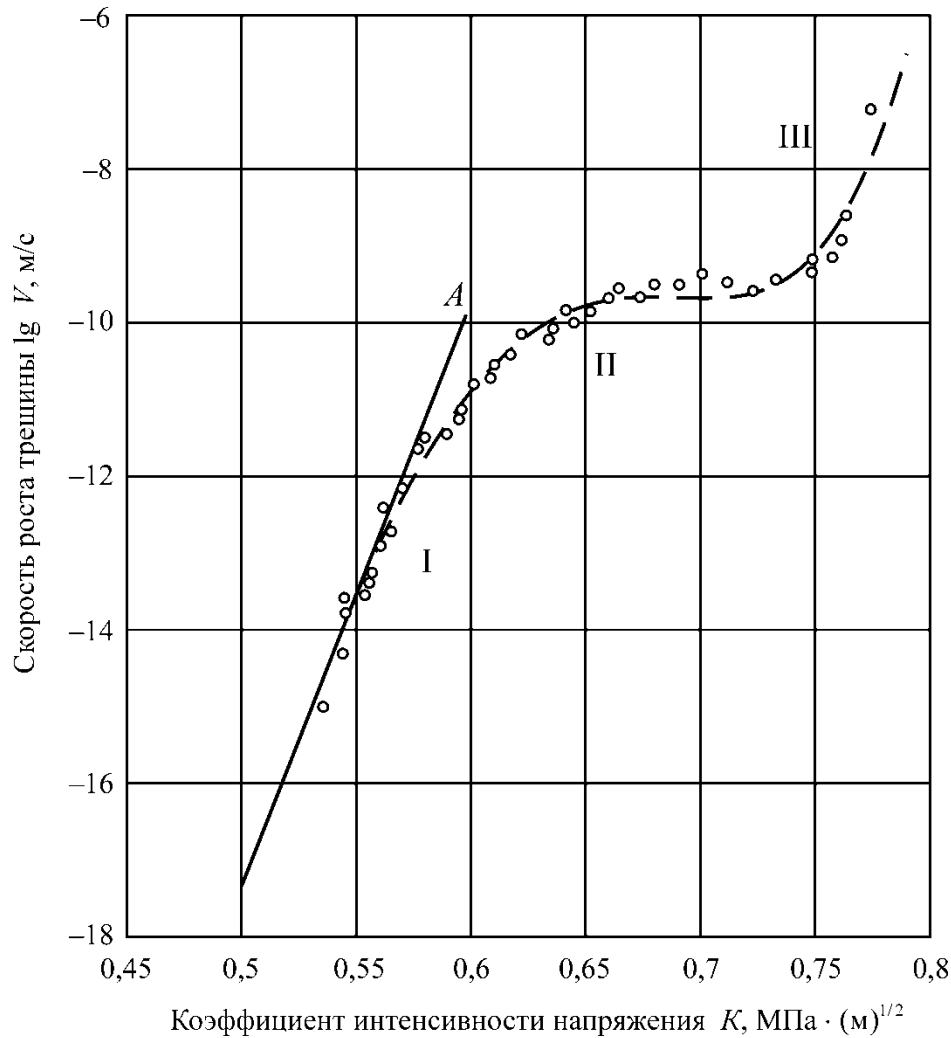


a



б

Модель микротрещины по Гриффитсу (а) и зависимость длины трещины от действующих напряжений (б): l – длина трещины, ρ – радиус кривизны в вершине трещины $\sigma_{лк} = 2$



$$V_{\text{трещ}} = dl/dt = A \times K^n$$

$$K = Y \times \sigma \times (l)^{1/2}$$

$$n_{\text{KB}} \approx 20$$

Зависимость скорости роста микротрещины от коэффициента интенсивности напряжений

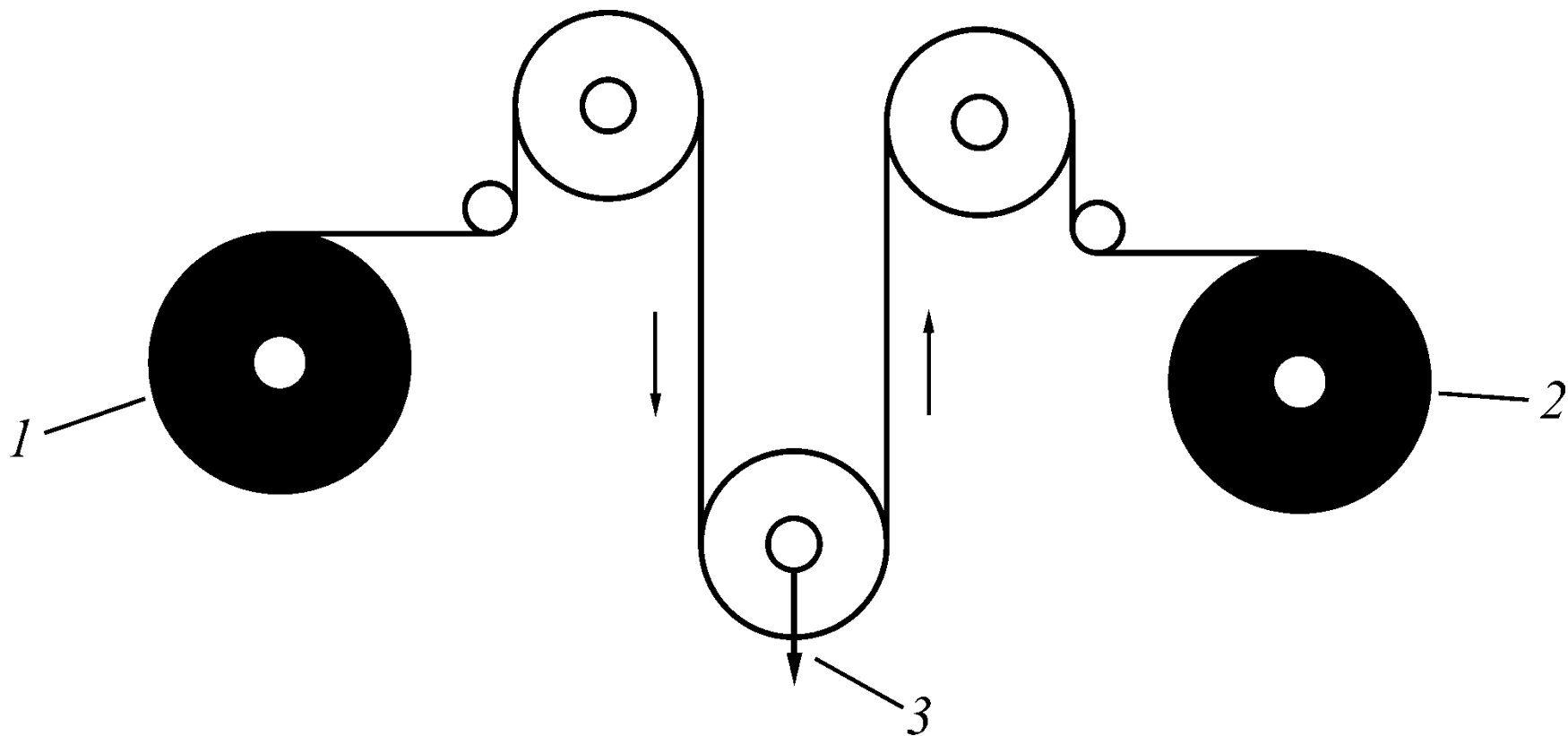
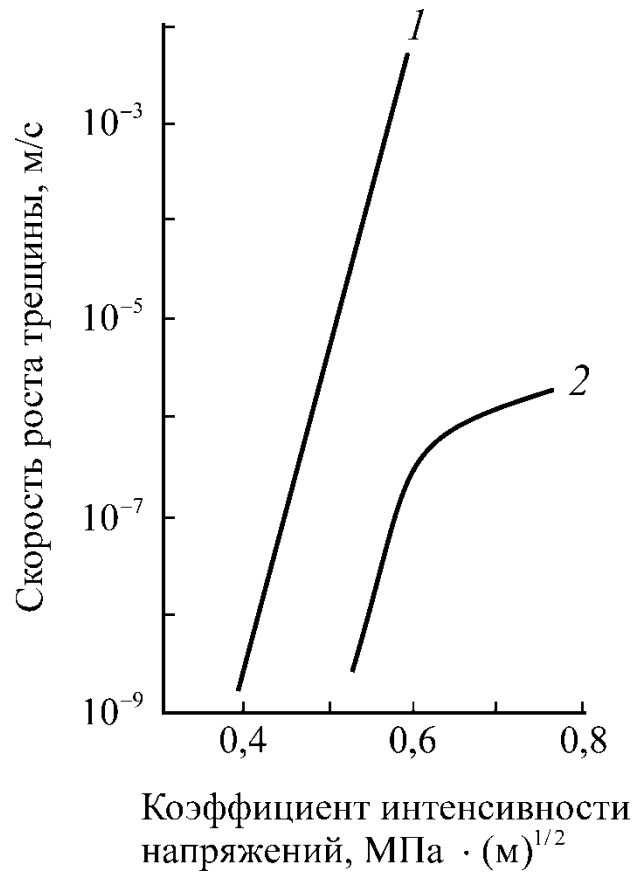


Схема установки для контроля прочности волокна методом перемотки (*prooftest*): 1 – раздаточная катушка; 2 – приемная катушка; 3 – кабанстан



Зависимости скорости роста трещин от коэффициента интенсивности напряжений в средах с влажностью:

1 – 100 %; 2 – 2 %

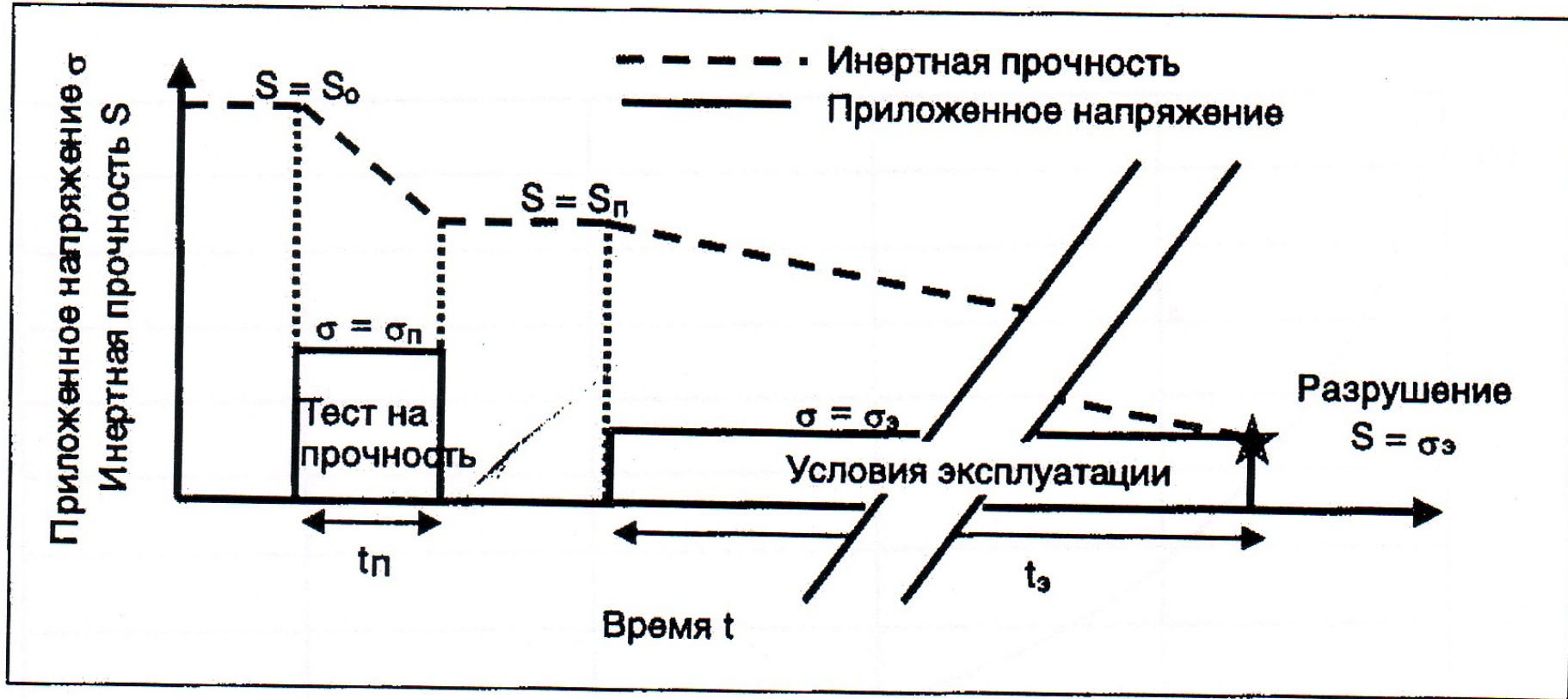


Схема изменения инертной прочности волокна S под действием напряжений σ_n в процессе перемотки под нагрузкой и напряжения при эксплуатации волокна σ_3

$$\tau(\varepsilon) = \tau_n \cdot P \cdot (\varepsilon_n / \varepsilon)^n ;$$

$$P = [1 - (1/L N_n) \ln(1 - F)](n-2)/m - 1,$$

Где τ –

срок службы волокна, τ_n – время нагружения при перемотке, с;

F – вероятность разрушения волокна в процессе эксплуатации;

L – длина волокна, км;

N_n – число обрывов волокна на единицу длины при его перемотке, км⁻¹;

ε – относительное удлинение волокна в процессе эксплуатации;

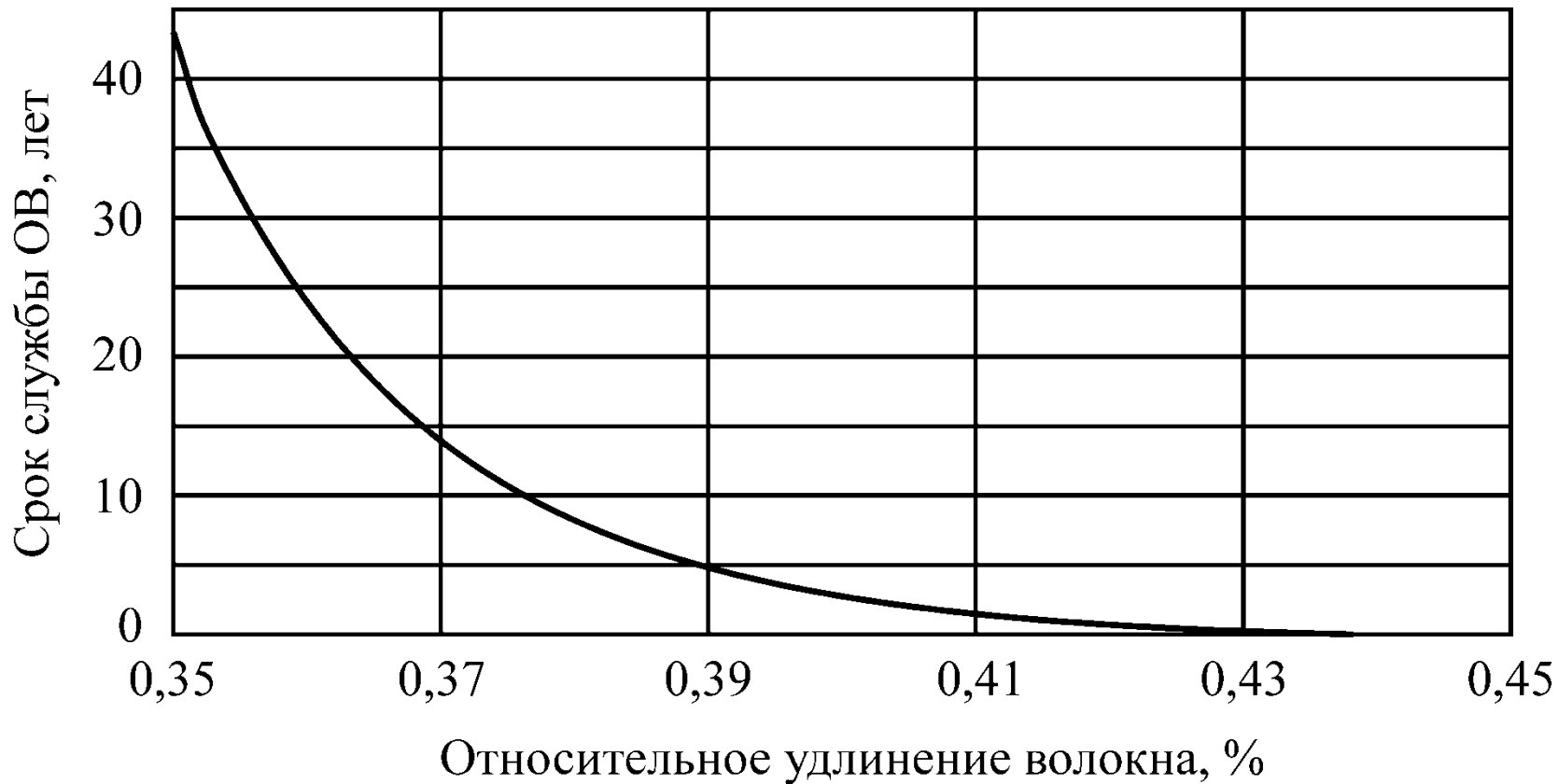
ε_n – относительное удлинение волокна в процессе перемотки;

n – параметр, характеризующий скорость роста трещины

m – статистический параметр Вейбулла

$$F = 1 - \exp \left[- \left(\frac{L}{L_0} \right) \times \left(\frac{f}{f_0} \right)^m \right]$$

$$\Phi = \ln \ln \left(\frac{1}{1 - F} \right) = \ln \left(\frac{L}{L_0} \right) + m \ln (f) - m \ln (f_0)$$



Зависимость срока службы ОВ от его удлинения

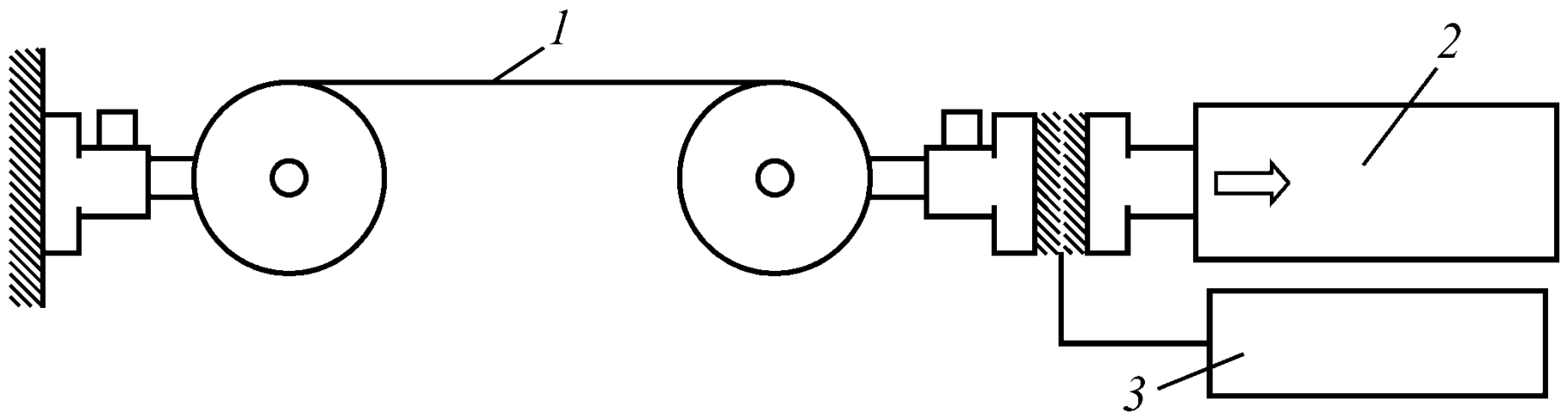
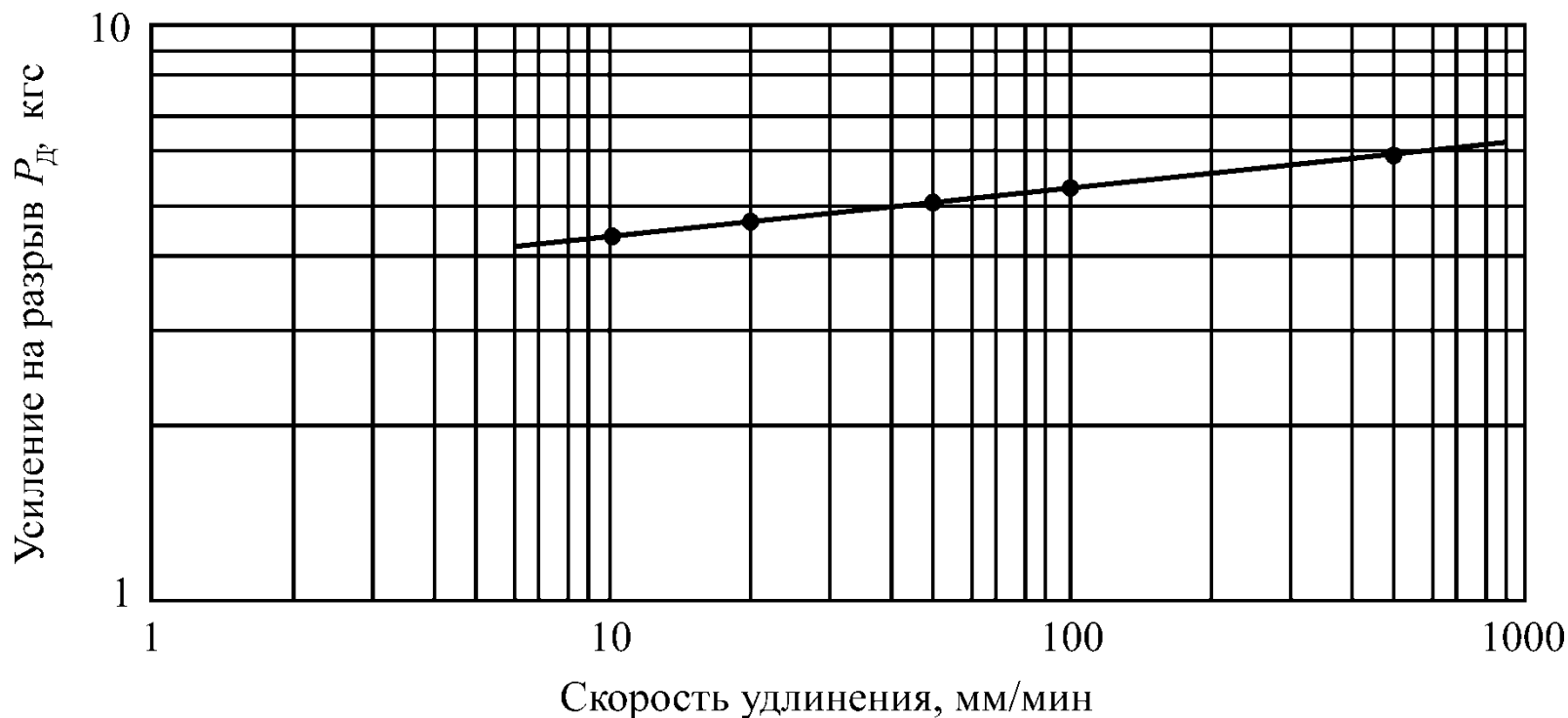


Схема разрывной машины для измерения прочности волокна: **1** – волокно; **2** – нагрузка; **3** – самописец



Результаты динамических испытаний прочности одномодового ОВ

$$\ln P_d = [1/(n + 1)] \ln v + \text{const}$$

где P_d – разрывная прочность, v – скорость нагружения

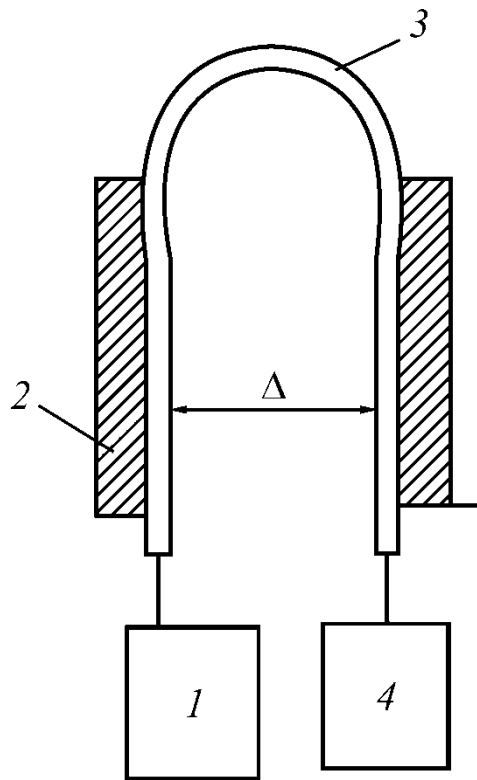
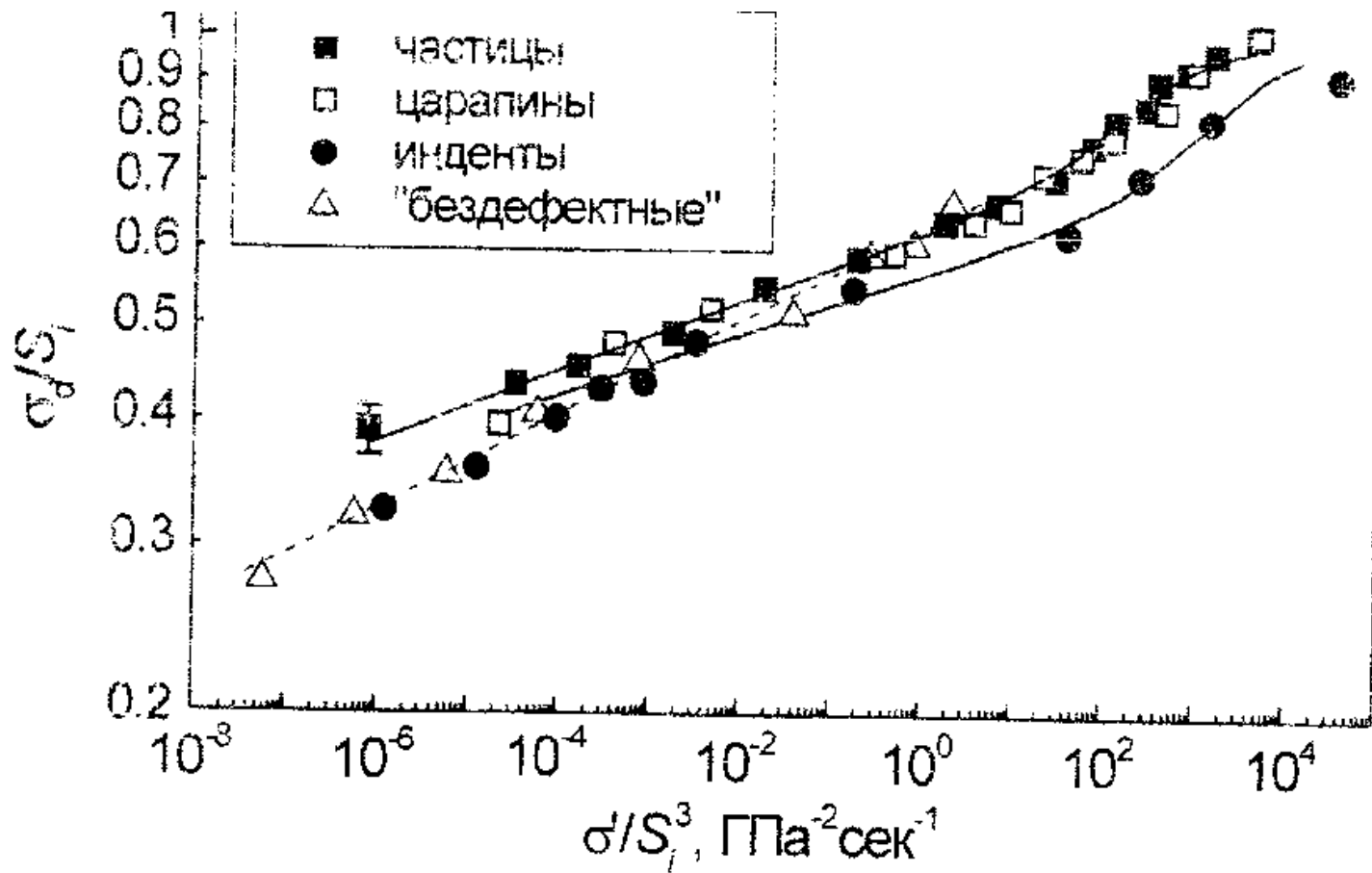


Схема измерения прочности волокна изгибным методом: 1 – источник света; 2 – сжимающие пластины; 3 – волокно; 4 – фотоприемник

$$\sigma = E(1 + 4,2 d/\Delta) 1,21d/\Delta,$$

где d – диаметр волокна, Δ - расстояние между осями петли



Зависимости прочности на растяжение от скорости нагружения для световодов с разными дефектами, построенные в «универсальных» координатах

σ' - скорость нагружения, S_i - инертная прочность

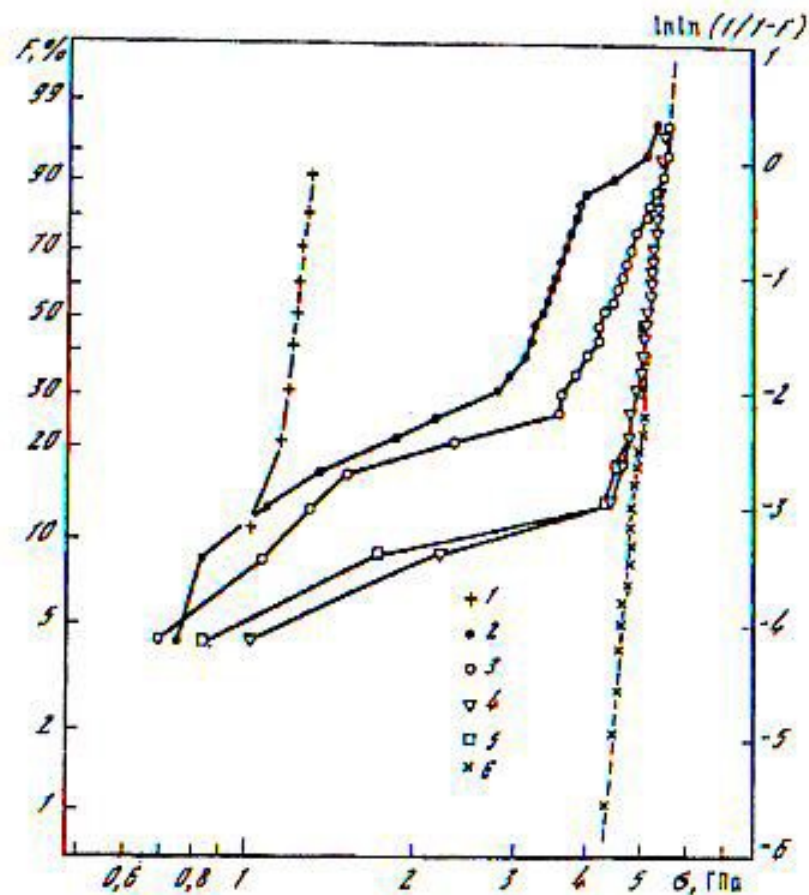
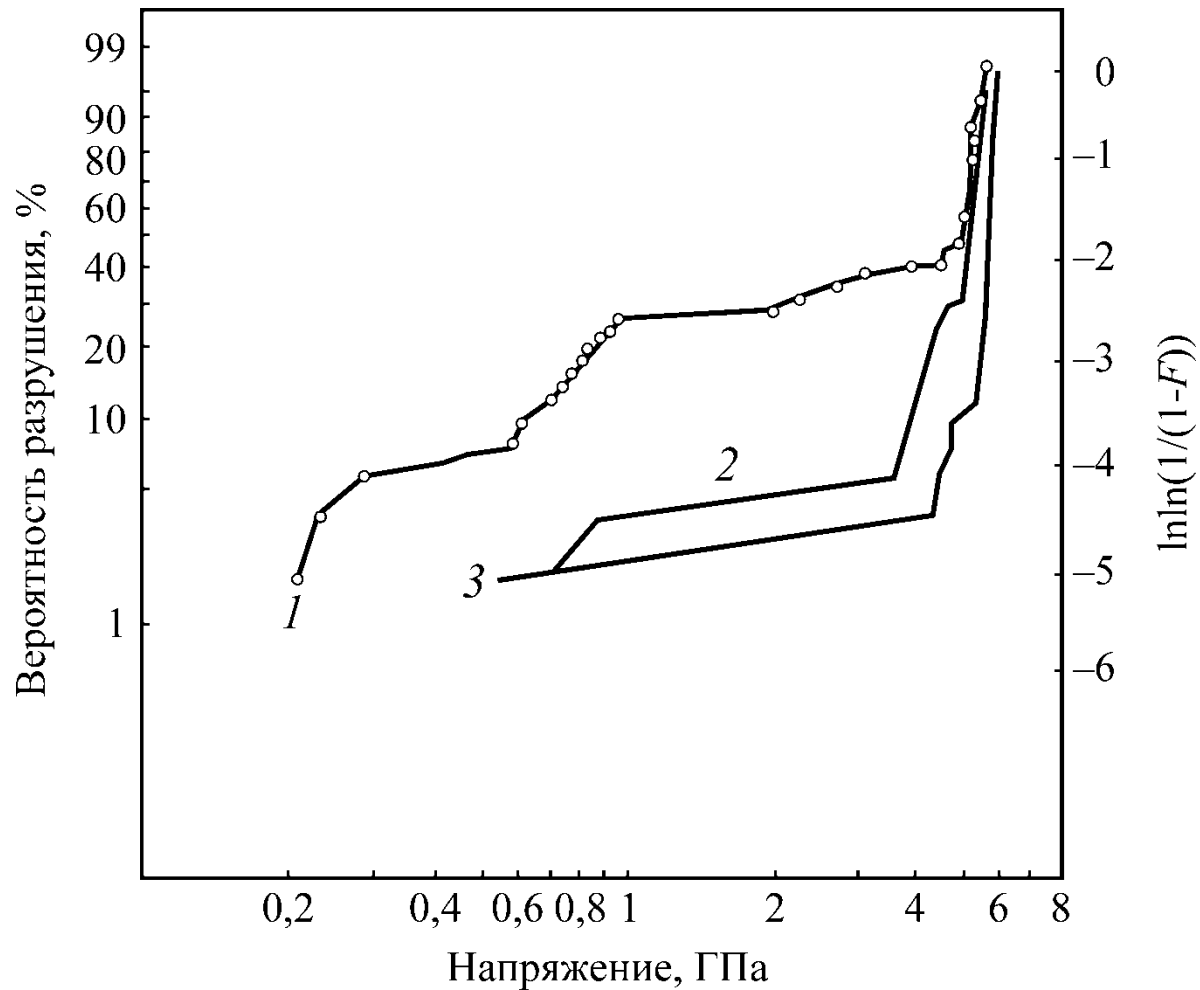
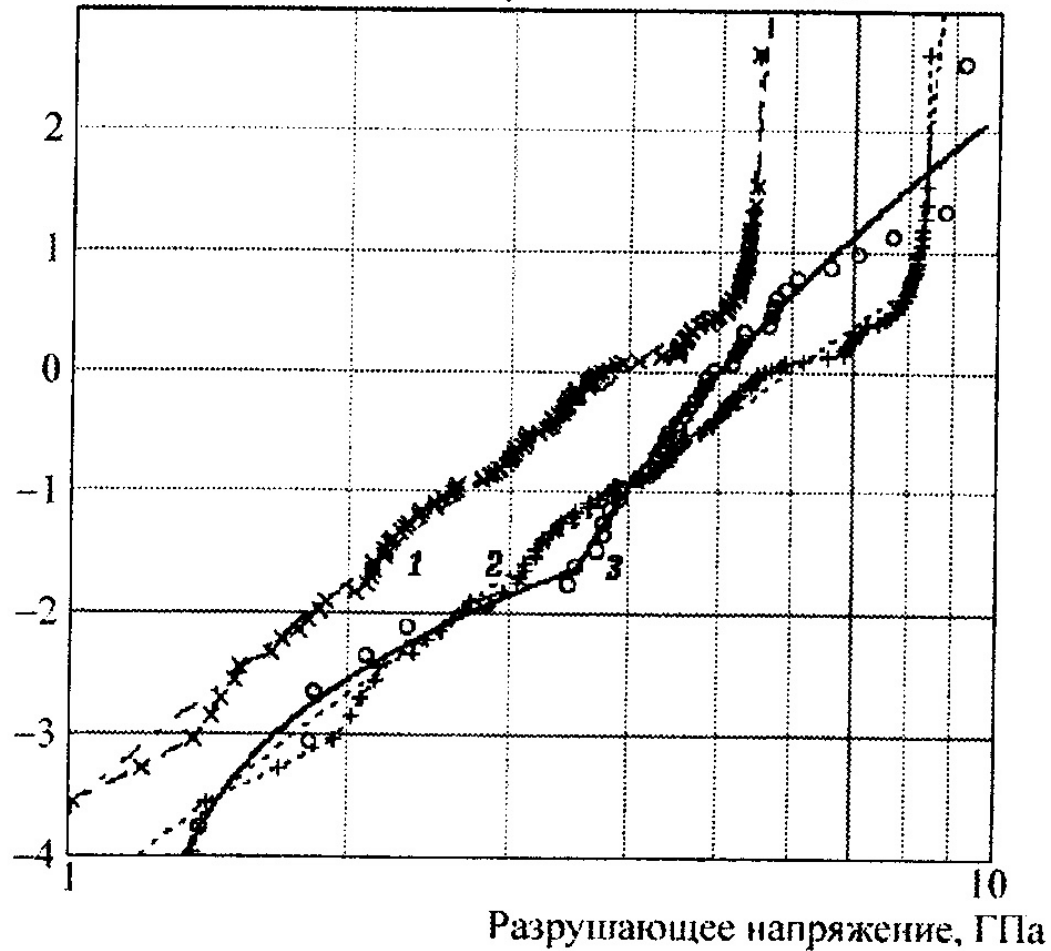


Рис.36. Графики Вейбула функции распределения удельной прочности волокон из кварцевого стекла КУ-1 с покрытием СИЭЛ 159/167 различной толщины: 1 – 0; 2 – 20мкм; 3 – 30мкм; 4 – 50мкм; 5 – 60мкм; 6 – 60мкм+лак Ф-42.



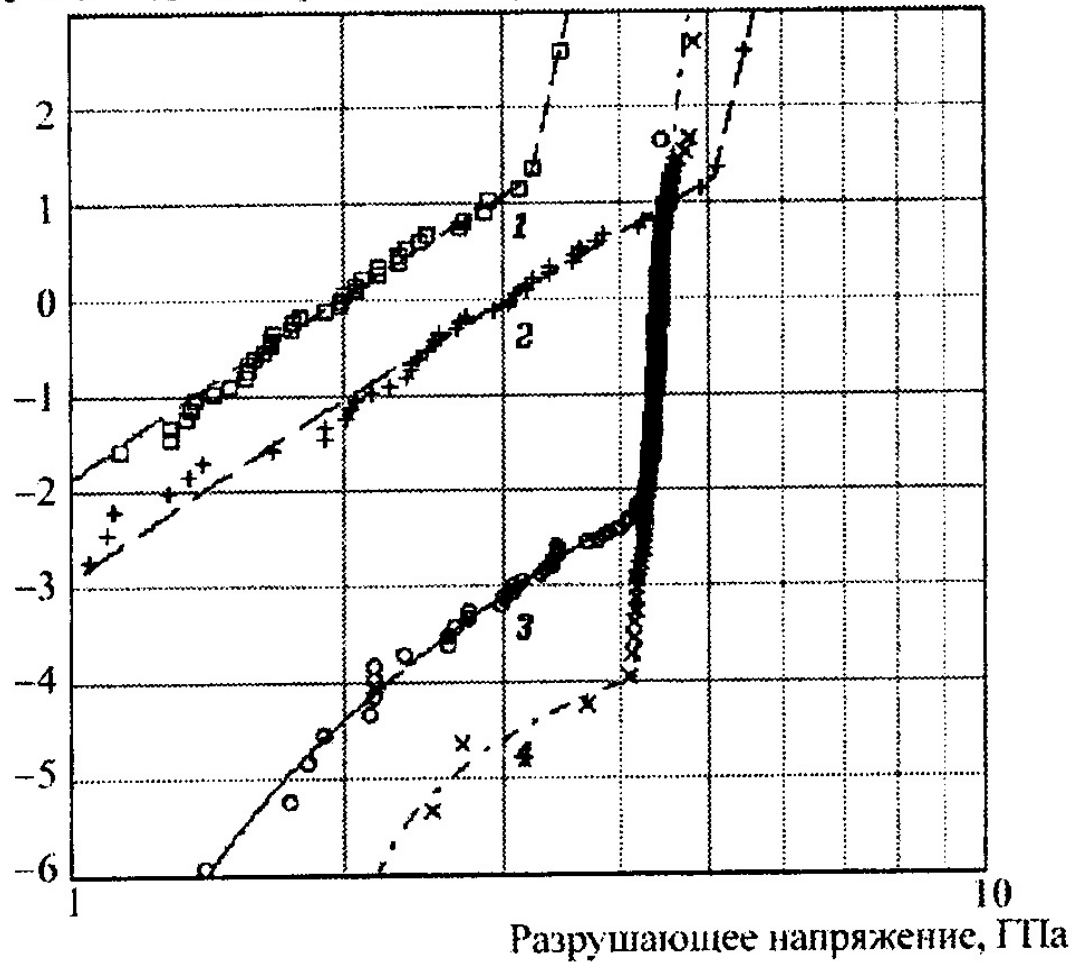
- Распределение Вейбулла для образцов ОВ, вытянутых из трех заготовок: 1 – заготовка перед вытяжкой не подвергалась какой-либо обработке; 2 – заготовка подвергалась огневой полировке; 3 – заготовка подвергалась травлению и огневой полировке

$\ln[-\ln(1-P)]$ Распределения прочности световодов



Сравнение распределений Вейбулла для световодов: 1 – с удаленным полимерным покрытием, 2 – пересчет распределения 1 на условия разрушения в абсолютно сухой атмосфере, 3 – с алюминиевым покрытием.

$\ln[-\ln(1-P)]$ Распределения прочности световодов



Сравнение распределения Вейбулла для световодов: 1 – с удаленным полимерным покрытием, 2 – перерасчет распределения 1 на условия разрушения в абсолютно сухой атмосфере, 3 – с акрилатным покрытием, 4 – с углеродным покрытием.