

Влияние размера опор при испытаниях на изгиб образцов из полимерных композитов для конструкций космического базирования

Татусь Н.А., Власов Д.Д., Поляков А.Э., Полилов А.Н.

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва

Аннотация

Рассмотрен ряд эффектов, возникающих при изгибе композитных образцов на цилиндрических опорах: изменение точки контакта образца с опорой, уменьшение пролета, дополнительные смещения от «обкатывания» опоры, изменение направления силы реакции (рис. 1).

Оценивается влияние перечисленных эффектов на определяемые при изгибе механические свойства полимерных волокнистых композитов: модули упругости и межслойного сдвига, а также прочностные характеристики. На основе ряда допущений с помощью разложения по малым параметрам было строго показано, при каких значениях радиуса нижних опор указанными эффектами при определении свойств материала с заданной точностью можно пренебречь.

Постановка задачи

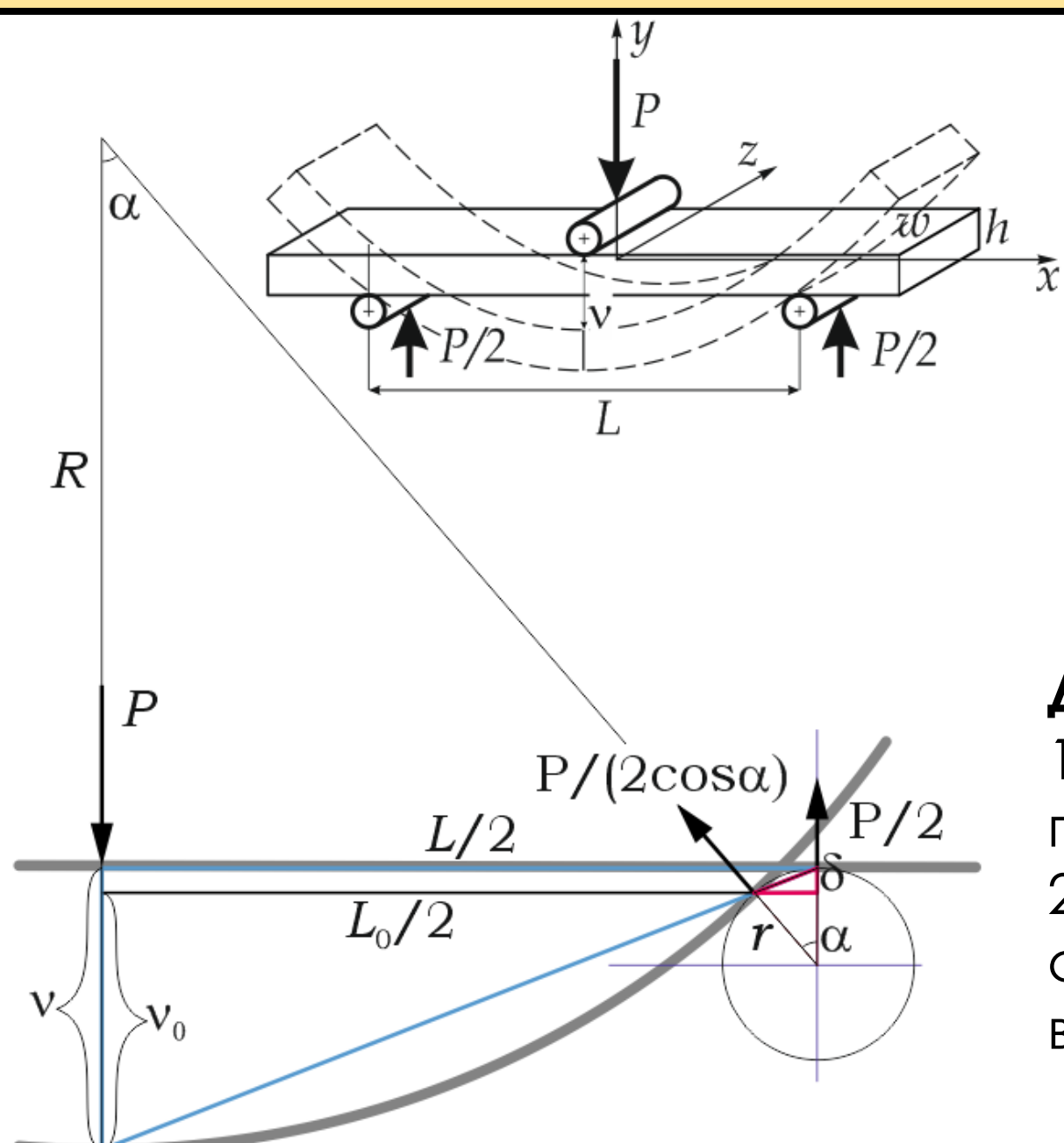


Рис. 1 Схема «обкатывания» опор

Два вида поправок:

1. Уменьшение длины пролета балки.
2. Дополнительное смещение образца по вертикали.

Допущения

1. Для прогиба при известном пролете используется формула основанная на **гипотезе плоских сечений**:

$$v_0 \left(\frac{L}{2} \right) = \frac{PL_0^3}{4E_x wh^3}$$

2. Допускается, что **нейтральная ось имеет форму дуги окружности**. Одинаковая кривизна $1/R$ по всей длине балки позволяет связать угол «скатывания» α с другими неизвестными параметрами (рис. 2).

$$L_0 = L - 2r \sin \alpha \approx L - 2r\alpha$$

$$v_0 = v - r(1 - \cos \alpha) \approx v - r\alpha^2 / 2$$

$$\alpha \approx \frac{4v}{L} \left(1 - \frac{4PLr}{E_x wh^3} \right) = \frac{4v}{L} \left(1 - \frac{16rv}{L^2} \right)$$

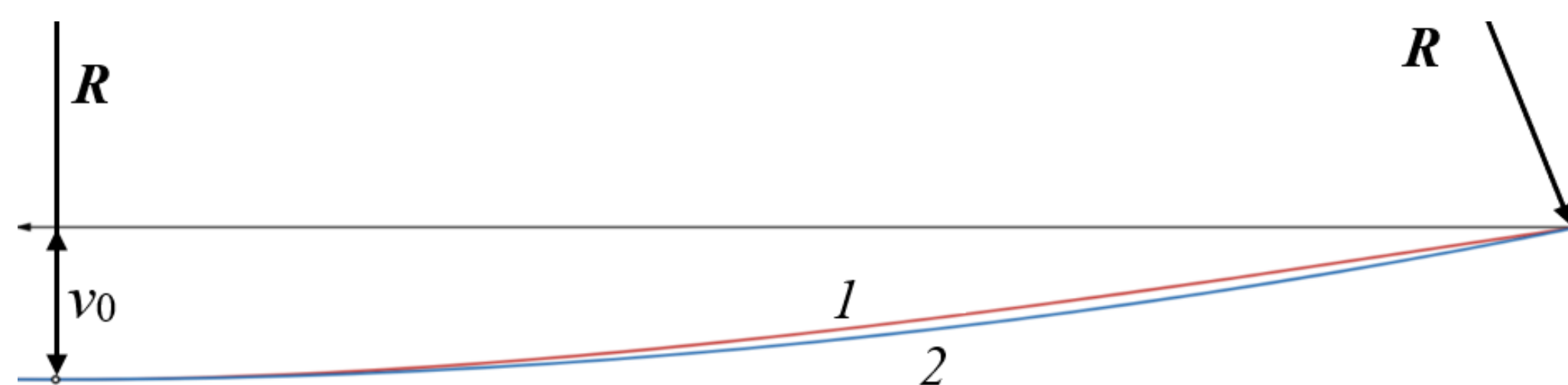


Рис. 2 Ось балки при изгибе: 1 – кривая 3-го порядка, 2 – дуга окружности

3. **Дополнительный момент от горизонтальной составляющей реакции опоры мал по сравнению с основным изгибающим моментом.** Сила реакции нижней опоры направлена под некоторым углом из-за «скатывания» образца, однако разница между реакцией опоры $P/2$ и наклонной реакцией $P/(2\cos \alpha)$ имеет второй порядок малости.

$$\cos \alpha \approx 1 - \frac{\alpha^2}{2} \approx 1 - \frac{8v^2}{L^2} - 0 \left(\frac{v^2 r^2}{L^4} \right)$$

$$\frac{4M_h}{PL} = \frac{2v \sin \alpha}{L \cos \alpha} \approx \frac{2v}{L} \alpha \left(1 + \frac{\alpha^2}{2} \right)$$

Оценка вносимой погрешности

Определение модуля Юнга

$$v_0 = \frac{PL_0^3}{4E_x wh^3} \rightarrow E_{x0} \approx \left(1 - 6 \frac{r\alpha}{L} + \frac{r\alpha^2}{2v} \right) E_x \approx \left(1 - \frac{16rv}{L^2} \right) E_x$$

Определение модуля межслойного сдвига

$$v_0 = \frac{PL_0^3}{4E_x wh^3} + \frac{6PL_0}{20whG_{xz0}} \rightarrow G_{xz0} \approx \left(1 - \frac{16LPrv}{4E_x h^3 wv + 24LPrv - L^3 P} \right) G_{xz}$$

Определение прочности по нормальным напряжениям

$$\sigma_0^* = \frac{3PL_0}{2wh^2} \rightarrow \sigma_0^* = \left(1 - \frac{2r}{L} \alpha \right) \sigma^* \approx \left(1 - \frac{8rv}{L^2} \right) \sigma^*$$

Определение межслойной прочности по линейному критерию*

$$\tau_0^* = \frac{mc}{m^2 + (L_0/h)^2} \rightarrow \tau^* = \left(\frac{L - 2r\alpha}{L} \right) \tau^* = \left(1 - \frac{8rv}{L^2} \right) \tau_0^*$$

*Полилов А.Н., Татусь Н.А. Биомеханика прочности волокнистых композитов.

Экспериментальное и численное подтверждение

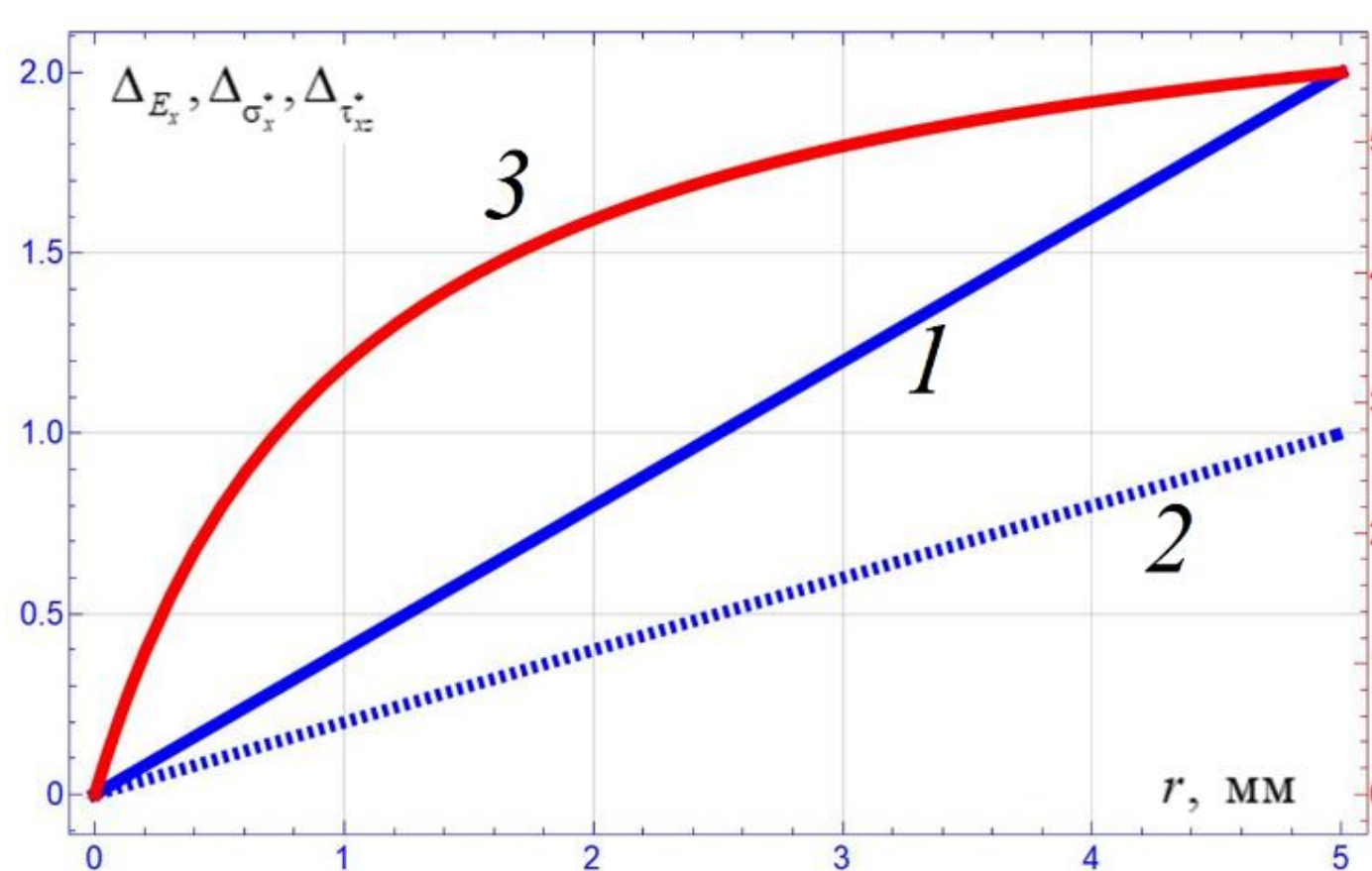


Рис. 3 Графики зависимостей погрешности оценки: 1 – модуля упругости, 2 – прочностей и 3 – модуля сдвига от радиуса опор

Проведена серия испытаний на трехточечный изгиб стеклопластиковых образцов на опорах с разным диаметром. Образцы нагружались до прогиба $v=10$ мм при длине пролета $L=200$ мм. Результаты определения модуля упругости приведены на рис. 4. Для этих же данных были получены графики зависимости погрешности определения механических характеристик от радиуса опор (рис. 3). Экспериментальные результаты и расчетные оценки показали, погрешность от скатывания образца с цилиндрических опор при определении модуля Юнга составляет не более 1% при радиусе опор не более 2.5 мм.

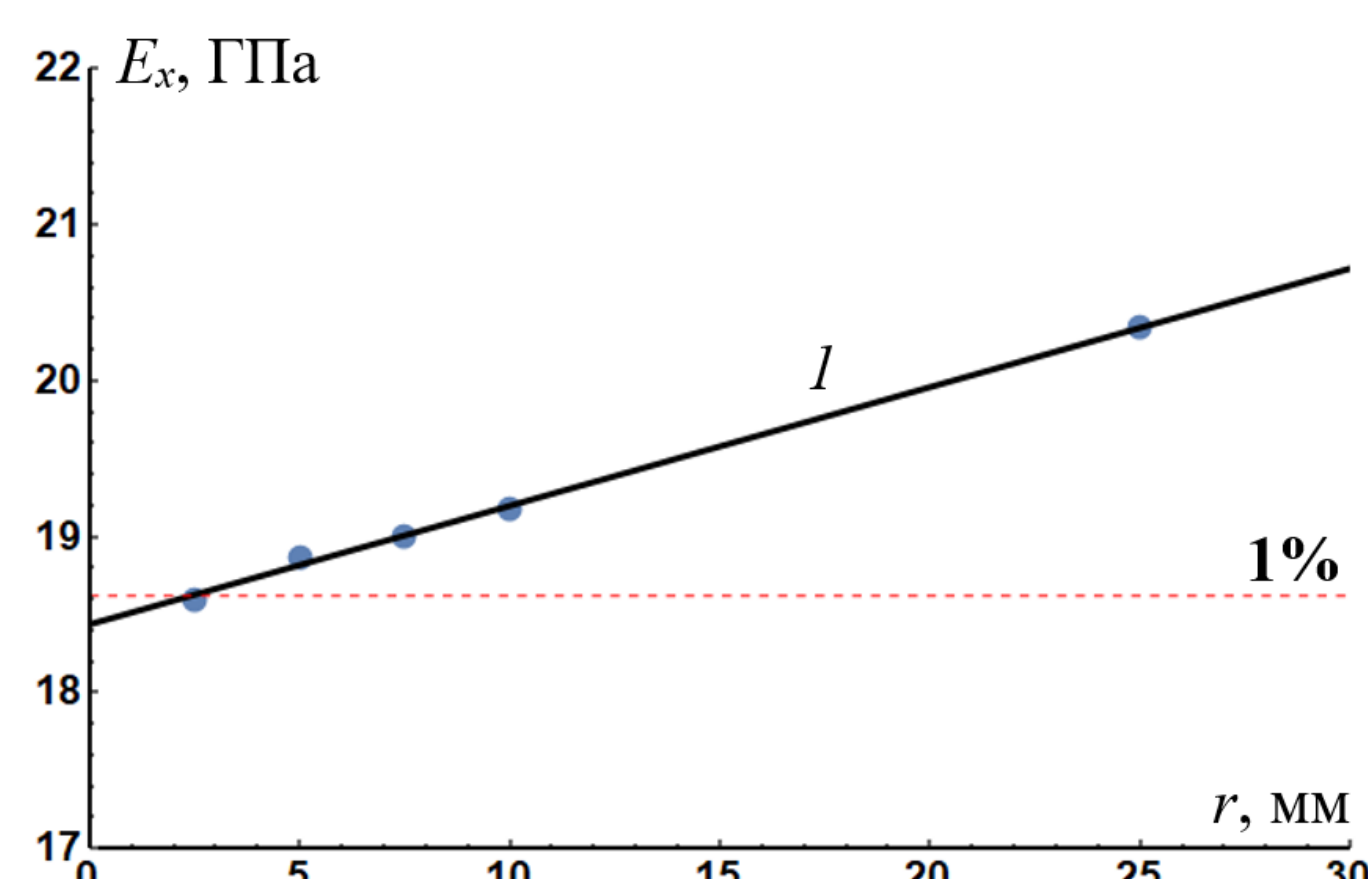


Рис. 4 Погрешность при определении модуля упругости стеклопластика при изгибе

Выводы

Полученные соотношения позволили установить, в каких пределах изменения радиуса цилиндрических опор неучёт сползания образца дает пренебрежимо малую (менее 1%) погрешность определения упруго-прочностных свойств композитов. Результаты экспериментального определения возникающей погрешности подтверждают полученные оценки.

Поддержка

Работа выполнена за счет средств Государственного задания, код научной темы FFGU-2024-0020

Контакты: nikalet@mail.ru Татусь Н.А., danila_vlasov_98@mail.ru Власов Д.Д., apadd@mail.ru Поляков А.Э., polilovan@mail.ru Полилов А.Н.