

Ю. В. Немировский

## ПРЕДЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ ГИБРИДНЫХ ДЕРЕВО-ПЛАСТИКОВЫХ КЛЕЕНЫХ БРУСЬЕВ

*Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия*

**Аннотация.** Предполагаемое активное освоение Приполярных и Северо-восточных районов России требует ускоренного создания и развития специальной строительной индустрии для обширных удаленных географических территорий со слабыми грунтовыми основаниями. Совершенно ясно, что массовая экономически приемлемая застройка в таких районах должна быть основана на использовании сборно-разборных деревянных и дерево-пластмассовых сооружений [1,2]. Учитывая транспортные трудности и высокую экономическую стоимость “северных завозов” в эти районы, при массовых локализованных застройках обживаемых территорий следует делать упор на максимальное использование местных возобновляемых лесных ресурсов. Это потребует проведения расширенных специальных программ исследований по уточнению специфических свойств деревьев различной номенклатуры как конструкционных материалов и по разработке методов расчета и проектирования элементов деревянных конструкций с учетом обнаруженных специфических свойств. Такие разработки станут особенно актуальными в настоящее время, поскольку проблема реконструкции существующих зданий и развитие малоэтажного строительства в городах и поселках рассматривается как социально-политическая и экономическая задача первостепенной важности при обеспечении населения жильем в достаточном количественном измерении и по критериям экономической доступности для большинства. Здесь дополнительным полезным подспорьем для массового применения деревянных конструкций могут выступать строительство стропильных покрытий и возведение мансардных этажей в различных типах жилых и административных зданий.

**Ключевые слова:** предельное состояние, дерево, пластик, брусья, композиционные материалы, полимеры, деформирование, гибридные конструкции.

DOI: 10.26293/chgpu.2019.40.2.008

УДК: 539.374

---

© Немировский Ю. В., 2019  
*Немировский Юрий Владимирович*  
e-mail: nemirov@itam.nsc.ru, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск, Россия.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-01-00038.

Поступила 31.05.2019

Квазиизотропные и композиционные материалы на полимерной основе широко используются в строительной практике [3-7], и как показывают многочисленные эксперименты [4-9], они при деформировании проявляют качественные особенности, сходные с особенностями деформирования различных пород деревьев. Одно из наиболее ярких проявлений таких особенностей состоит в свойстве существенной разносопротивляемости при растяжении и сжатии. В то же время полимерные изделия, как и деревянные обладают малым удельным весом. Это побуждает к созданию комбинированных дерево-пластиковых гибридных конструкций для наиболее рационального использования взаимных достоинств материалов и снижения стоимости изготовления и длительной эксплуатации конструкций.

Изготовление линейных элементов гибридных конструкций достаточно легко приспособить к различному уровню технологии производства и может быть реализовано как в примитивных условиях строительных полигонов, так и в цеховых условиях, включая гибкое автоматизированное производство. Реализация таких производств характеризуется высокой технологической универсальностью, при которой все основные несущие элементы можно изготавливать в виде серий однотипных форм [2,3,10,11]. При этом возникает возможность непрерывно изменять формы, наборы структурных материалов, размеры элементов за счет быстрой переналадки формирующего устройства [3,10,11]. Это снимает ограничение с номенклатуры проектируемых сооружений и обеспечивает выбор оптимально-планировочных решений по проектированию необходимых сооружений. На основе линейных гибридных дерево-пластиковых элементов можно компоновать здания и сооружения самого различного назначения – как малоэтажные быстро монтируемые, так и многоэтажные с подвальными гаражами, мансардами и целым рядом ограждающих заборов, спортивных и развлекательных площадок, овощехранилищ и универсальных холодильников. Помимо простоты и универсального производства такие гибридные дерево-пластиковые линейные конструкции при перемещении к разным строительным объектам не требуют использования спец автотранспортных средств, и могут быть реализованы при движении по существующим трассам, что существенно ускоряет время и удешевляет расходы на строительство.

**Особенности деформирования деревянных и пластиковых стержней – образцов.** Многочисленные испытания образцов различных пород деревьев, армированных и неармированных пластиков [2-11] указывают на определенное качественное сходство их диаграмм при растяжении и диаграмм при сжатии. Отмечается, что диаграммы сжатия дерева, армированных и неармированных полимеров имеют сильно выраженный нелинейный характер, тогда как диаграммы растяжения почти линейны или слабо нелинейны, модули упругости при растяжении и сжатии практически совпадают, а пределы прочности при растяжении и сжатии отличаются в несколько раз. На рис. 1 в качестве иллюстрации приведены диаграммы растяжения (р) и сжатия (с) для сосны, ясеня, лиственницы, текстолита, и однонаправленного армированного композита на основе эпоксидного связующего и высокомодульных углеродных волокон.

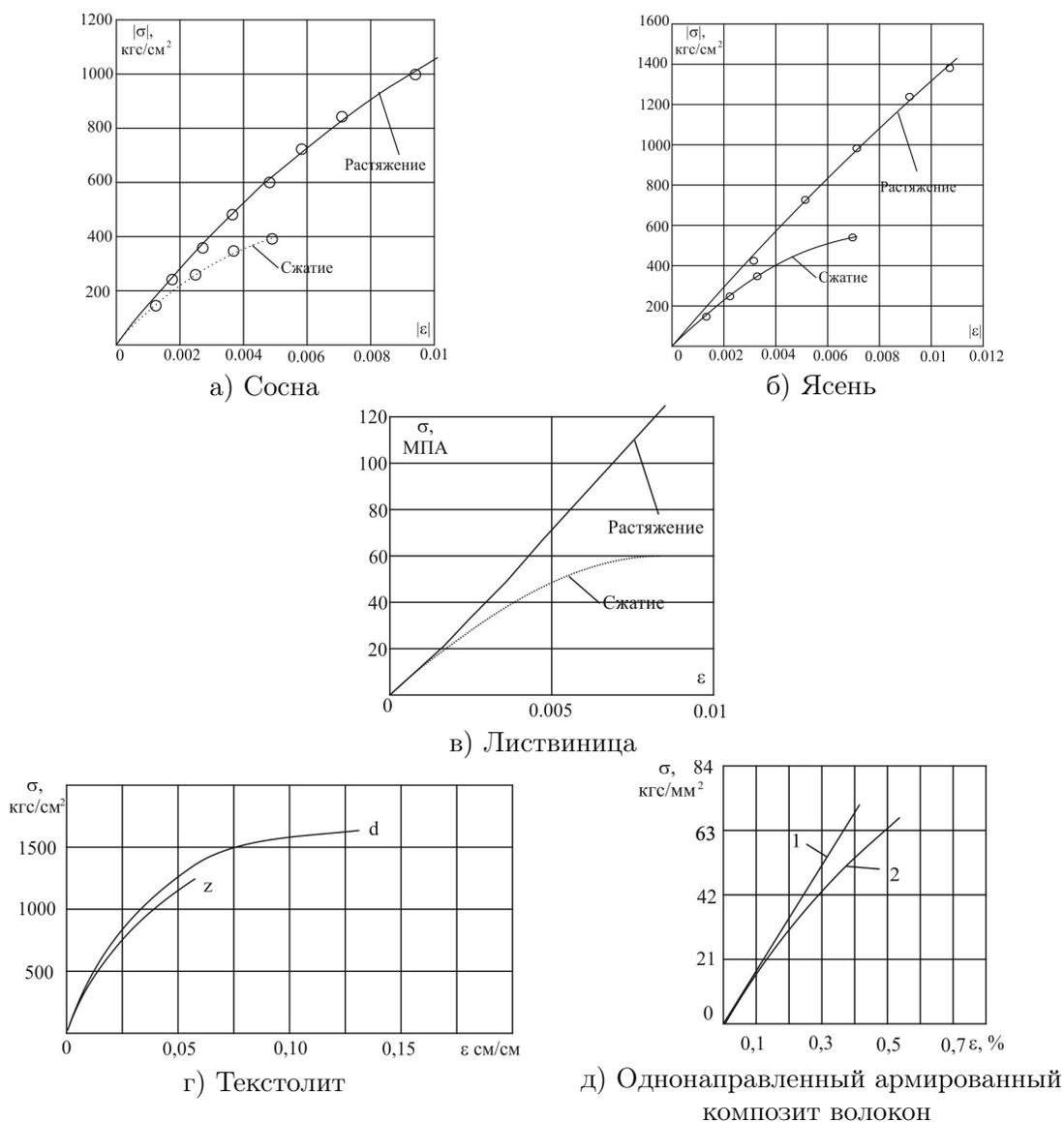


Рис. 1. Диаграммы растяжения (р) и сжатия (с).

Эти диаграммы указывают на то, что дерево и многие армированные и неармированные материалы, также как и некоторые другие широко распространенные конструкционные материалы (бетоны, чугуны, модифицированные стали, титаны и цветные сплавы) необходимо относить к классу разносопротивляющихся материалов. Общая теория описания физических процессов деформирования [12-16] таких материалов находится пока в зачаточном состоянии и весьма сложна для использования при практических расчетах конструкций, находящихся в условиях сложного напряженного состояния. В случае одноосного напряженно-деформированного состояния, используемого при расчете стержневых конструкций ферменного, балочного, рамного или арочного типа рассматриваемые диаграммы в пределах устойчивых процессов

(процессов предразрушений) деформирования ( $-\varepsilon_*^- \leq \varepsilon \leq \varepsilon_*^+$ ) с достаточной точностью могут быть аппроксимированы зависимостями [12-14, 17]:

$$\sigma = A\varepsilon + B\varepsilon^2 + C\varepsilon^3, \quad (-\varepsilon_*^- \leq \varepsilon \leq \varepsilon_*^+) \quad (1)$$

или

$$\sigma = A\varepsilon + B\varepsilon^2, \quad (-\varepsilon_*^- \leq \varepsilon \leq \varepsilon_*^+) \quad (2)$$

где  $\varepsilon_*^-$  и  $\varepsilon_*^+$  - деформации предразрушения при сжатии и растяжении, соответствующие пределам прочности  $\sigma_*^-$  и  $\sigma_*^+$  при сжатии и растяжении. При известных данных испытаний образца конкретного материала коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$  для зависимостей (1), (2) могут быть получены с помощью известных процедур [21] обработки экспериментальных данных методом наименьших квадратов. В табл. 1 приведены результаты такой обработки для трех регулярно используемых в строительной практике пород деревьев: сосны, ели и ясеня.

№	Породы	A 10 <sup>3</sup> МПа	B 10 <sup>6</sup> МПа	C 10 <sup>9</sup> МПа	$\varepsilon_*^+$ 10 <sup>-3</sup>	$\varepsilon_*^-$ 10 <sup>-3</sup>	$\sigma_*^+$ МПа	$\sigma_*^-$ МПа	$\gamma$ КН/м <sup>3</sup>
1	Сосна	15.55	0.373	-0.094	7.4	-4.6	97.6	54.4	5.00
2	Ясень	12.60	0.451	-0.042	11.0	-7.2	137.4	51.8	6.77
3	Ель	13.24	0.610	-0.078	7.0	-5.0	95.9	41.2	4.41

Таблица 1. Кубическая аппроксимация

№	Породы	A 10 <sup>3</sup> МПа	B 10 <sup>6</sup> МПа	$\varepsilon_*^+$ 10 <sup>-3</sup>	$\varepsilon_*^-$ 10 <sup>-3</sup>	$\sigma_*^+$ МПа	$\sigma_*^-$ МПа	$\gamma$ КН/м <sup>3</sup>
1	Сосна	15.97	2.65	7.4	-4.6	97.6	54.4	5.00
2	Ясень	15.21	0.773	11.0	-7.2	137.4	51.8	6.77
3	Ель	14.01	1.789	-5.0	-5.0	95.9	41.2	4.41

Таблица 2. Квадратичная аппроксимация

Аналогичные результаты были получены также для других пород деревьев [15-20]: березы, дуба, осины, тополя, кедра при использовании известных из литературы атласов испытания образцов древесины различных пород. Аналогичным образом, привлекая известные данные об испытаниях образцов из армированных и неармированных полимеров [3-9] можно таким же образом вычислить для них коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$  соответствующие зависимостям (1), (2). К сожалению, полные атласы диаграмм деформирования не опубликованы или недоступны. В научно-технических публикациях можно найти для определенных марок полимеров более или менее достоверные сведения по стандартным характеристикам: модулям упругости, пределам прочности, и предельно допустимым деформациям при растяжении и сжатии. Поэтому в работе [17] был разработан подход, позволяющий определять коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$  в аппроксимациях (1), (2) через вышеупомянутые стандартные характеристики. При кубической аппроксимации (1) используются условия

$$\left. \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \right|_{\varepsilon=-\varepsilon_*^-} = 0 \quad (3)$$

$$\sigma(\varepsilon_*^+) = \sigma_*^+, \quad \sigma(-\varepsilon_*^-) = -\sigma_*^- \quad (4)$$

где  $\varepsilon_*^\pm$  - значения предельных деформаций устойчивого деформирования при растяжении и сжатии (деформаций предразрушения). Тогда для коэффициентов  $A$ ,  $B$ ,  $C$  получим систему уравнений

$$\begin{aligned} A + 2B\varepsilon_*^- + 3C(\varepsilon_*^-)^2 &= 0 \\ A - B\varepsilon_*^- + C(\varepsilon_*^-)^2 &= E_*^- \\ A + B\varepsilon_*^+ + C(\varepsilon_*^+)^2 &= E_*^+ \end{aligned} \quad (5)$$

$$E_*^+ = \frac{\sigma_*^+}{\varepsilon_*^+}, \quad E_*^- = \frac{\sigma_*^-}{\varepsilon_*^-} \quad (6)$$

где  $\sigma_*^+$ ,  $\sigma_*^-$  - пределы прочности при растяжении и сжатии,  $E_*^+$ ,  $E_*^-$  - предельно допустимые секущие модули при растяжении и сжатии. Решение системы уравнений (5) можно представить в форме

$$A = E_*^- \frac{(R + 3k + 3k^2)}{(k + 1)^2}, \quad B = \frac{A}{\varepsilon_*^-} \frac{(2R - 3 + k^2)}{(R + 3k + 2k^2)}, \quad C = \frac{A}{(\varepsilon_*^-)^2} \frac{(R - 2 - k)}{(R + 3k + 2k^2)} \quad (7)$$

где

$$R = \frac{E_*^+}{E_*^-}, \quad k = \frac{\varepsilon_*^+}{\varepsilon_*^-} \quad (8)$$

При использовании квадратичной аппроксимации (2) система уравнений для коэффициентов  $A$ ,  $B$  будет иметь вид

$$\begin{aligned} A - B\varepsilon_*^- &= E_*^- \\ A + B\varepsilon_*^+ &= E_*^+ \end{aligned} \quad (9)$$

а ее решение можно представить в форме

$$A = E_*^- \frac{(R + k)}{(k + 1)}, \quad B = \frac{A}{\varepsilon_*^-} \frac{(R - 1)}{(R + k)} \quad (10)$$

Учитывая вышеуказанное качественное сходство диаграмм деформирования различных пород деревьев и типов полимерных материалов для всех используемых материалов при последующем построении математической модели деформирования будем использовать однотипные зависимости (2) или (3) с соответствующими значениями коэффициентов, вычисленных на основе испытаний конкретных материалов. Такой подход позволит при сохранении сравнительно простых численных процедур решения задач деформирования гибридных стержневых конструкций существенно расширить номенклатуру создаваемых конструкций и разработать в дальнейшем эффективные методы их оптимального проектирования. В таблице 1 и 2 в качестве примеров приведены необходимые для расчетов характеристики трех пород деревьев при кубической и квадратной аппроксимациях.

**Основные уравнения гибридного клееного дерево-пластового бруса.** Под гибридным клеевым дерево-пластиковым брусом будем понимать совокупность призматических брусков из материала различных пород дерева или типов пластиковых материалов с параллельными осями и разными формами поперечных сечений, соединенных по всех призматическим стыкующимся поверхностям с помощью клея. Если  $x$  - ось брусков, а  $S_m$  - площадь поперечного сечения каждого бруса, то общая площадь

поперечного сечения склеенного гибридного бруса будет равна  $S = \sum_{\alpha=1}^m S_{\alpha}$ . В настоящее время разработаны такие марки клеев, у которых прочность клеевого слоя на отрыв и сдвиг соразмерна или даже превышает соответствующие прочностные свойства соединяемых материалов. Поэтому можно считать, что при достаточно тонких прослойках клея, соединение различных брусьев друг с другом по общим соприкасающимся поверхностям будет идеальным, и склеенный брус будет деформироваться как единый брус, с неоднородными кусочно-постоянными свойствами по сечению. Свяжем с рассматриваемым брусом декартову систему координат  $x, y, z$ , так что ось  $x$  будет осью рассматриваемого бруса и имеет определенную привязку к поперечному сечению. Для упрощения получающихся в дальнейшем решений будем считать, что структуры гибридных брусьев и распределения внешних нагрузок согласованы так, что они не вызывают эффектов закручивания, либо эти эффекты столь незначительны, что ими можно пренебречь. Тогда рассматриваемый гибридный стержень будет испытывать изгиб с растяжением-сжатием в плоскостях  $xy$  и  $yz$ , и в случае малых деформаций и перемещений, возникающие внутренние усилия  $N$  и моменты  $M_y, M_z$  будут подчиняться уравнениям равновесия

$$\frac{d^2 M_z}{dx^2} = q_y - \frac{dm_z}{dx}, \quad \frac{d^2 M_y}{dx^2} = q_z - \frac{dm_y}{dx}, \quad \frac{dN}{dx} = -q_x \quad (11)$$

Здесь  $N$  - проекция вектора внутреннего усилия на ось  $x$ ;  $M_y, M_z$  - проекции вектора внутреннего момента на оси  $z$  и  $y$ . Точка приложения вектора внутренних усилий лежит на оси стержня. Величины  $q_x, q_y, q_z$  - проекции вектора внешней нагрузки, приложенной на оси стержня,  $m_z, m_y$  - проекции вектора внешнего распределенного момента на оси  $z$  и  $y$ . Внутренние силовые факторы  $N, M_y, M_z$  связаны с продольными напряжениями  $\sigma_{\alpha}$  в гибридных брусках выражениями

$$N = \sum_{\alpha} \iint_{S_{\alpha}} \sigma_{\alpha} dS_{\alpha}, \quad M_y = \sum_{\alpha} \iint_{S_{\alpha}} \sigma_{\alpha} z dS_{\alpha}, \quad M_z = \sum_{\alpha} \iint_{S_{\alpha}} \sigma_{\alpha} y dS_{\alpha} \quad (12)$$

Поскольку соединяемые материалы обладают соразмерными по порядку характеристиками прочности и жесткости для гибридных стержней рассматриваемого типа можно использовать классические гипотезы Кирхгофа-Лява, то связь между деформациями  $\varepsilon(x, y, z)$  и перемещениями  $u_0(x), v_0(x), w_0(x)$  оси стержня выражается формулой

$$\varepsilon(x, y, z) = \varepsilon_0 - y\kappa_z - z\kappa_y \quad (13)$$

$$\varepsilon_0(x) = \frac{du_0}{dx}, \quad \kappa_y = \frac{d^2 v_0}{dx^2}, \quad \kappa_z = \frac{d^2 w_0}{dx^2} \quad (14)$$

Здесь  $\varepsilon_0(x), \kappa_y, \kappa_z$  - продольная деформация на уровне оси стержня и изменение кривизны оси стержня в проекции на оси  $z$  и  $y$ . Связи между напряжениями  $\sigma_{\alpha}$  и деформациями  $\varepsilon$  в  $\alpha$ -слое выражается соотношениями (1) или (2) с соответствующими коэффициентами. Интегрируя уравнения (11), для внутренних усилий получим выражения

$$N(x) = N(0) - \int_0^x q_x dx,$$

$$M_z(x) = M_z(0) - Q_y(0)x - \int_0^x m_z dx + \int_0^x \left( \int_0^x q_y dx \right) dx \quad (15)$$

$$M_y(x) = M_y(0) - Q_z(0)x - \int_0^x m_y dx + \int_0^x \left( \int_0^x q_z dx \right) dx$$

В случае статически определимых задач значения  $N(0)$ ,  $Q_y(0)$ ,  $Q_z(0)$ ,  $M_z(0)$ ,  $M_y(0)$  определяются из условий равновесия на концах стержня, и тогда выражения (15) будут характеризовать известные законы изменения внутренних сил вдоль оси стержня. При известных функциях  $N_x$ ,  $M_z(x)$ ,  $M_y(x)$  из уравнений (11) учитывая соответствующие структуры гибридного стержня и зависимости (1) или (2), будем получать систему трех нелинейных алгебраических уравнений в виде полиномов третьих или вторых степеней относительно трех неизвестных функций  $\varepsilon_0(x)$ ,  $\kappa_z(x)$ ,  $\kappa_y(x)$  которые могут быть численно решены с помощью построения асимптотических приближений. После нахождения функций  $\varepsilon_0(x)$ ,  $\kappa_z(x)$ ,  $\kappa_y(x)$  для перемещений  $u_0(x)$ ,  $v(x)$ ,  $w(x)$ , учитывая выражения (14) получим

$$\begin{aligned} u_0(x) &= u_0(0) + \int_0^x \varepsilon_0(x) dx, & v(x) &= v(0) + \phi_y(0)x + \int_0^x \left( \int_0^x \kappa_y(x) dx \right) dx \\ \phi_y(x) &= \phi_y(0) + \int_0^x \kappa_y(x) dx, & w(x) &= w(0) + \phi_z(0)x + \int_0^x \left( \int_0^x \kappa_z(x) dx \right) dx \\ \phi_z(x) &= \phi_z(0) + \int_0^x \kappa_z(x) dx \end{aligned} \quad (16)$$

В случае статически неопределимых конструкций соответствующая система разрешающих нелинейных уравнений относительно искомым перемещений  $u_0(x)$ ,  $v(x)$ ,  $w(x)$  может быть представлена в виде:

$$\begin{cases} \sum_{n=1}^3 \sum_{k=1}^{n+1} \sum_{t=1}^k D'_{nkt} \frac{d}{dx} \left( \left( \frac{du_0}{dx^2} \right)^{n-k+1} \left( \frac{d^2v_0}{dx^2} \right)^{t-1} \left( \frac{dw_0}{dx^2} \right)^{k-t} \right) + q_x = 0 \\ \sum_{n=1}^3 \sum_{k=1}^{n+1} \sum_{t=1}^k D'_{nk(t+1)} \frac{d^2}{dx^2} \left( \left( \frac{du_0}{dx^2} \right)^{n-k+1} \left( \frac{d^2v_0}{dx^2} \right)^{t-1} \left( \frac{dw_0}{dx^2} \right)^{k-t} \right) - \frac{dm_y}{dx} + q_z = 0 \\ \sum_{n=1}^3 \sum_{k=1}^{n+1} \sum_{t=1}^k D'_{n(k+1)t} \frac{d^2}{dx^2} \left( \left( \frac{du_0}{dx^2} \right)^{n-k+1} \left( \frac{d^2v_0}{dx^2} \right)^{t-1} \left( \frac{dw_0}{dx^2} \right)^{k-t} \right) - \frac{dm_z}{dx} + q_y = 0 \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} D'_{nkt} &= (-1)^{k-1} C_n^{k-1} C_{k-1}^{t-1} D_{nkt} \\ D'_{nk(t+1)} &= (-1)^{k-1} C_n^{k-1} C_{k-1}^{t-1} D_{nk(t+1)} \\ D'_{n(k+1)t} &= (-1)^{k-1} C_n^{k-1} C_{k-1}^{t-1} D_{n(k+1)t} \end{aligned} \quad (18)$$

Решения таких нелинейных краевых задач обычно проводится на основе традиционных процедур метода Бубнова-Галеркина для которых в необходимых конкретных случаях определяются необходимое количество и вид конечных рядов разложения исходных функций, скорость сходимости уточняющих приближений и устойчивость

процедур численного счета в зависимости от параметров входящих в коэффициенты разрешающей системы [21].

**Пример расчета.** В качестве примера был рассмотрен пример расчета статически определимого (шарнирно-опертого) трехслойного деревянного бруса длиной 6м, с прямоугольной шириной 20 см, и общей высотой 40 см, нагруженного равномерно распределенной по пролету нагрузкой интенсивности  $q_0$ . Были рассмотрены комбинации пород дерева: 1 – Ель, 2 – Ясень, 3 – Сосна, 4 – Дуб, 5 – Береза, 6 – Лиственница. В таблицах 3,4 приведены некоторые результаты расчетов.

№	Распределение пород	$q_{\max}$ [кН/м]	$w_{\max}$ [см]	$h_1$ [см]	$h_2$ [см]	$h_3$ [см]	№ слоя в котором достигнуты предельные деформации
1	333	79	7,7	13,3	13,3	13,3	1
2	6-5	108	12,9	20,0	0	20,0	1
3	5-6	76	9,2	20,0	0	20,0	1
4	65	65	8,3	20,0	0	20,0	1
5	86	86	10,4	13,3	13,3	13,3	2

Таблица 3. Результаты расчетов

№	Хар-р начала разрушения: растяжение (+), сжатие (-)	Вес балки [кН]	Стоимость [руб]	Степень нагружения нижних волокон [%]
1	-	2,40	1005	53
2	-	3,08	912	56
3	-	3,08	912	58
4	-	2,12	960	78
5	-	2,36	926	60

Таблица 4. Результаты расчетов

№	Порода древесины [кН/м <sup>3</sup> ]	Удельный вес [Руб/м <sup>3</sup> ]	Удельная стоимость
1	Ель	4,41	2000
2	Ясень	6,77	3000
3	Сосна	5,00	2100
4	Дуб	6,87	3200
5	Береза	6,28	1300
6	Лиственница	6,57	2500

Таблица 5.

Во втором столбце табл. 3 дано распределение пород по слоям. Так шифр 615 означает, что первый слой сделан из лиственницы, второй – из ели и третий – из березы. В столбцах 3 и 4 приведены максимальная нагрузка и максимальный прогиб

балки. Стоимость балки (столбец 11 табл.) включает в себя только стоимость древесины. Стоимость  $1\text{ м}^3$  взята по данным сети Интернет и равна 1300 Руб/ $\text{м}^3$  для березы, 2000 Руб/ $\text{м}^3$  для ели, 2500 Руб/ $\text{м}^3$  для лиственницы и 2100 Руб/ $\text{м}^3$  для сосны. В столбце 12 приведена степень нагружения крайних нижних волокон, равная  $\max(\varepsilon(x - 0.5h)) / \varepsilon_{3*}^+$ .

Из анализа результатов расчетов следует:

- (1) Варьирование пород слоев приводит к значительному изменению величины предельной нагрузки и максимального прогиба. Предельная нагрузка изменяется в 1.66 раза, максимальный прогиб в 1.55 раза.
- (2) Вес балок изменяется максимум в 1.45 раза, стоимость – в 1.10 раза.
- (3) В расчете №5 (строка 5 табл. 3) предельные деформации были достигнуты во внутреннем слое балки. Тогда как в однородных конструкциях предельные деформации всегда достигаются на фибровых волокнах балки. В расчетах №1-4 предельные деформации достигались на верхних фибровых волокнах.
- (4) Во всех расчетах нижние волокна балки были сильно недогружены, что является следствием значительной разносопротивляемости древесины.

Ряд других расчетов для конструкций гибридных деревянных и дерево-пластиковых брусев был выполнен также в работах [15-20, 22-25].

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Загородков Е. И. Малоэтажное домостроение в большом городе // Изв. Вузов. Строительство. 2013. № 5. С. 90–93.
- [2] Губенко А. Б. Клееные деревянные конструкции в строительстве. Москва: Госстройиздат, 1957.
- [3] Конструкции из дерева и пластмасс. Учебник для вузов / под ред. Г. С. Карлсона, Ю. В. Слицикоухова. Самара: Стройиздат, 1986. 643 с.
- [4] У.Новиков В. Полимерные материалы для строительства. Справочник. Москва: Высшая школа, 1995. 448 с.
- [5] Губенко А. Б. Прочность и деформативность конструкций с применением пластмасс. Москва: Стройиздат, 1966. 122 с.
- [6] Соломатов В. И., Бобрышев А. И., Химмлер А. Г. Полимерные композиционные материалы в строительстве. Москва: Стройиздат, 1988. С. 5–68.
- [7] Композиционные материалы / под ред. Л. Браутмена, Р. Крока. Москва: Машиностроение, 1978. Т. 7. С. 62–72.
- [8] Конструкционные полимеры Методы экспериментального исследования. Кн. 1 / под ред. П. И. Огибалова. Москва: Изд-во Московского госуниверситета, 1972. с. 322.
- [9] Технические свойства полимерных материалов. Учебно-справочное пособие / под ред. В. К. Крыжановского. 2 изд. СПб: Профессия, 2005. с. 288.
- [10] Ханин А. В. О разрушении клеодошчатых балок увеличенной высоты // Конструкции из клееной древесины и пластмасс. Л: ЛИСИ, 1979. С. 19–25.
- [11] М.Боровиков А., Уголев Б. Н. Справочник по древесине / под ред. Б. Н. Уголева. М.: Лесная промышленность, 1989. с. 296.
- [12] Немировский Ю. В. Метод расчета композитных стержневых систем из разномодульных материалов // Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики. Материалы V Всеросс. Научн. Конф. Томск: Изд-во ТГУ, 2006. С. 288–290.
- [13] Немировский Ю. В. Расчет и рациональное проектирование деревянных стержневых элементов // Современные проблемы совершенствования и развития конструкций в строительстве и транспорте. Сб. Науч. Тр. III Междунар. Научно-технич. конф. Самара: Изд-во СамГАСУ, 2005. С. 247–251.
- [14] Немировский Ю. В., В.Мищенко А., Вохмянин И. Т. Рациональное и оптимальное проектирование слоистых стержневых систем. Новосибирск: НГАСУ, 2004. с. 488.

- [15] Немировский Ю. В., И.Болтаев А. Некоторые особенности деформирования нелинейного разносопротивляющегося материала однопролетных балок // Вестник ТГАСУ. 2016. № 4. С. 95–106.
- [16] Немировский Ю. В., И.Болтаев А. Особенности деформирования и разрушения деревянных клеевых многопролетных балок. Сообщение 2 // Известия вузов. Строительство. 2016. № 7. С. 83–91.
- [17] Немировский Ю. В., И.Болтаев А. Влияние формы и расположения слоев на напряженно-деформированное состояние гибридных деревянных балок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 10. С. 73–83.
- [18] Немировский Ю. В., И.Болтаев А. Расчет и проектирование гибридных деревянных брусьев // Вестник ПНИПУ. Серия: Механика. 2017. № 3. С. 129–152.
- [19] Немировский Ю. В., И.Болтаев А. Особенности деформирования гибридных брусьев из древесины // Известия вузов. Лесной журнал. 2018. № 4.
- [20] Немировский Ю. В., И.Болтаев А. Сложный изгиб и начальное разрушение гибридных деревянных брусьев // Вестник СамГТУ. Серия: Физ.-мат. науки., 2017. № 4. С. 699–716.
- [21] Флетчер К. Численные методы на основе метода Галеркина. Москва: Мир, 1988. с. 322.
- [22] Немировский Ю. В., И.Болтаев А. Метод расчета деревянных стропильных покрытий зданий. Сообщение 1. Моделирование и общие закономерности // Известия вузов. Строительство. 2014. № 3. С. 5–13.
- [23] Немировский Ю. В., И.Болтаев А. Особенности деформирования и разрушения деревянных клеевых многопролетных балок. Сообщение 1 // Известия вузов. Строительство. 2016. № 6. С. 116–126.
- [24] В.Мищенко А., Немировский Ю. В. Оценка прочности комбинированных дерево-пластмассовых балок // Современные проблемы совершенствования и развития металлических, деревянных, пластмассовых конструкций в строительстве и на транспорте. Сб. науч. трудов III Междунар. научно-технич. конф. Самара: Изд-во СамГАСУ, 2005. С. 228–233.
- [25] П.Пятикрестовский К., Хунагов Х. С. Обоснование зависимости между интенсивностями напряжений и деформаций для нелинейного расчета деревянных конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. 2011. № 1. С. 62–69.
- [26] Ржаницын А. Р. К вопросу о теоретическом весе стержневых конструкций. Москва: Стройиздат, 1949. С. 252–265.

Yu. V. Nemirovskii

## LIMIT CONDITIONS OF HYBRID WOOD-PLASTIC GLUED BEAMS

*S. Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia*

**Abstract.** The proposed active development of the Subpolar and North-Eastern regions of Russia requires the accelerated creation and development of a special construction industry for vast remote geographic areas with weak soil bases. It is completely clear that mass economically acceptable development in such areas should not be based on the use of collapsible wooden and wood-plastic structures [1,2]. Given the transport difficulties and the high economic value of the “northern deliveries” to these areas, with massive localized development of the inhabited territories, emphasis should be placed on the maximum use of local renewable forest resources. This will require extended special research programs to clarify the specific properties of trees of various nomenclatures as structural materials and to develop methods for calculating and designing elements of wooden structures taking into account specific properties found. Such developments are becoming especially relevant at present, since the problem of reconstructing existing buildings and developing low-rise construction in cities and towns is considered as a socio-political and economic task of paramount importance when providing the population with housing in sufficient quantitative terms and according to the criteria of economic affordability for the majority. Here, an additional useful tool for the mass use of wooden structures can be the construction of roof trusses and the construction of attic floors in various types of residential and office buildings.

**Keywords:** limiting condition, wood, plastic, beams, composite materials, polymers, deformation, hybrid structures.

## REFERENCES

- [1] Zagorodkov E. Low housing construction in the big city // *Izv. Vuzov. Construction*. 2013. no. 5. P. 90–93.
- [2] Gubenko A. *Glued wooden constructions in construction*. Moscow: Gosstroyizdat, 1957.
- [3] *Constructions from a tree and plastic. The textbook for higher education institutions* / Ed. by G. C. Y. S. and. Samara: Stroyizdat, 1986. 643 p.
- [4] Novikov V. *Polymeric materials for construction. Reference book*. Moscow: Higher school, 1995. 448 p.
- [5] Gubenko A. *Durability and a deformability of constructions using plastic*. Moscow: Stroyizdat, 1966. 122 p.
- [6] Solomatov V., Bobryshev A., Himmler A. *Polymeric composition materials in construction*. Moscow: Stroyizdat, 1988. P. 5–68.
- [7] *Composition materials* / Ed. by L. B. R. K. and. Moscow: Mechanical engineering, 1978. Vol. 7. P. 62–72.
- [8] *Constructional polymers Methods of a pilot study. Prince 1* / Ed. by P. Ogibalova. Moscow: Publishing house of the Moscow State University, 1972. p. 322.
- [9] *Technical properties of polymeric materials. Educational handbook* / Ed. by V. Kryzhanovsky. 2 edition. SPb: Profession, 2005. p. 288.
- [10] Khanin A. About destruction the kleedoshchatykh of beams of the increased height // *Constructions from glued wood and plastic. Л: LISI*, 1979. P. 19–25.
- [11] Borovikov A., Ugolev B. *Reference book on wood* / Ed. by B. Ugoleva. M.: Forest industry, 1989. p. 296.
- [12] Nemirovsky Y. A method of calculation of composite rod systems from the raznomodulnykh of materials // *Fundamental and applied problems of modern mechanics. Materials V of Vseross. Nauchn. Konf. Tomsk: Izdatelstvo TGU*, 2006. P. 288–290.
- [13] Nemirovskiy Y. V. Calculation and rational design of wooden rod elements // *Modern problems of improvement and development of structures in construction and transport. Сб. Науч. Тр. III Internunar. Scientific технич. konf. Samara: SamGASU*, 2005. P. 247–251.
- [14] Nemirovskiy Y. V., Mischenko A. V., Vokhmyanin I. T. Rational and optimal design of layered core systems. Novosibirsk: NGASU, 2004. p. 488.
- [15] Nemirovskiy Y. V., I.Boltayev A. Some features of deformation of nonlinear divergent material of single-span beams // *TGASU Gazette*. 2016. no. 4. P. 95–106.
- [16] Nemirovskiy Y. V., I.Boltayev A. Peculiarities of deformation and destruction of wooden adhesive multi-span beams. Message 2 // *University News. Construction*. 2016. no. 7. P. 83–91.
- [17] Nemirovskiy Y. V., I.Boltayev A. Influence of shape and arrangement of layers on stress-deformed state of hybrid wooden beams // *V.G. Shukhova BGTU Gazette*. 2017. no. 10. P. 73–83.
- [18] Nemirovskiy Y. V., I.Boltayev A. Calculation and design of hybrid wooden bars // *PLIPU Journal. Series: Mechanics*. 2017. no. 3. P. 129–152.
- [19] Nemirovskiy Y. V., I.Boltayev A. Features of deformation of hybrid wood bars // *University News. Forest Journal*. 2018. no. 4.
- [20] Nemirovskiy Y. V., I.Boltayev A. Complex bending and initial destruction of hybrid wooden bars // *SamGTU Gazette. Series: Physical-mat. Sciences*,. 2017. no. 4. P. 699–716.
- [21] Fletcher K. *Numerical methods based on the Galerkin method*. Moscow: World, 1988. p. 322.
- [22] Nemirovskiy Y. V., I.Boltayev A. Method of calculation of wooden sling coatings of buildings. Message 1. modeling and general patterns // *University News. Construction*. 2014. no. 3. P. 5–13.

---

*Nemirovskii Yuri Vladimirovich*, Dr. Sci. Phys. & Math., Professor, Leading Research Worker, S. Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia.

- 
- [23] Nemirovskiy Y. V., I.Boltayev A. Peculiarities of deformation and destruction of wooden adhesive multi-span beams. Message 1 // University News. Construction. 2016. no. 6. P. 116–126.
- [24] Mischenko A. V., Nemirovskiy Y. V. Strength evaluation of combined wood-plastic beams // Modern problems of improvement and development of metal, wooden, plastic structures in construction and transport. Сб. науч. Works of III Internunar. scientific технич. conf. Samara: SamGASU, 2005. P. 228–233.
- [25] Pyatikrestovsky K. P., Hunagov H. S. Validity of dependence between stress and strain intensities for nonlinear calculation of wooden structures // Construction mechanics and calculation of structures. 2011. no. 1. P. 62–69.
- [26] Rzhanitsin A. R. To the question of theoretical weight of rod structures. Moscow: Stroyizdat, 1949. P. 252–265.