

Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №3 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-3>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/56TVN316.pdf>

Статья опубликована 30.05.2016.

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Гранкин К.В., Шмидт А.Б. О методах расчета сжато-изгибаемых конструкций из клееной древесины // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №3 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/56TVN316.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**УДК 624.044.2**

**Гранкин Кирилл Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, Санкт-Петербург<sup>1</sup>  
Аспирант  
E-mail: [gran1256@mail.ru](mailto:gran1256@mail.ru)

**Шмидт Александр Борисович**

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, Санкт-Петербург  
Заведующий секции «Деревянных конструкций»  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: [ukftpz@lan.spbgasu.ru](mailto:ukftpz@lan.spbgasu.ru)

## **О методах расчета сжато-изгибаемых конструкций из клееной древесины**

**Аннотация.** В данной статье авторами рассмотрены существующие методики расчета сжато-изгибаемых прямолинейных стержней из клееной древесины. Для каждого из рассматриваемых методов расчета сжато-изгибаемых конструкций, в том числе по действующим нормативным документам на территории Российской Федерации (СП 64.13330.2011) и Европы (EuroCode 5), выявлены недостатки и установлены рамки применимости каждого из методов расчета. Авторами статьи выполнено сравнение результатов, полученных при решении задачи с помощью имеющихся аналитических способов, а также с применением современных программных комплексов, построенных на методе конечных элементов, таких как SCAD Office и Lira Soft. Также в данной статье авторы выполняют численный эксперимент по всем рассматриваемым методикам, для прямолинейной сжато-изгибаемой балки пролетом 7 метров. В результате численного эксперимента строится график зависимости изменения коэффициента учета деформированного состояния, а также график зависимости изменения максимальных краевых нормальных напряжений от гибкости рассматриваемого элемента. В конце статьи авторами данной статьи приводятся выводы на основании сравнения полученных данных в результате проведенного численного эксперимента, для различных методов расчета сжато-изгибаемых элементов.

**Ключевые слова:** клееные деревянные конструкции; сжато-изгибаемые конструкции; геометрическая нелинейность; формула Максвелла-Мора; метод перемещений; метод начальных параметров

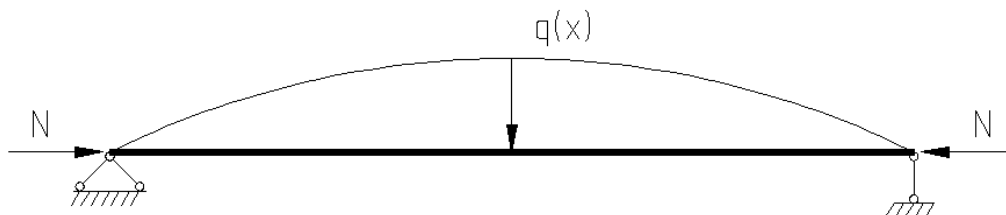
---

<sup>1</sup> 190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

На сегодняшний день имеется множество научных трудов по расчету сжатых и сжато-изгибаемых прямолинейных стержней, работающих в упругой стадии, а также за ее пределами, с учетом геометрической нелинейности, ползучести, а также с учетом анизотропии свойств древесины.

Современные нормы предлагают выполнять расчеты таких конструкций на основании методов решений, разработанных для прямолинейного стержня, опертого на двух опорах с синусоидальной нагрузкой (см. рис. 1). В основе этих формул кривая изгиба представлена в виде быстросходящегося тригонометрического ряда:

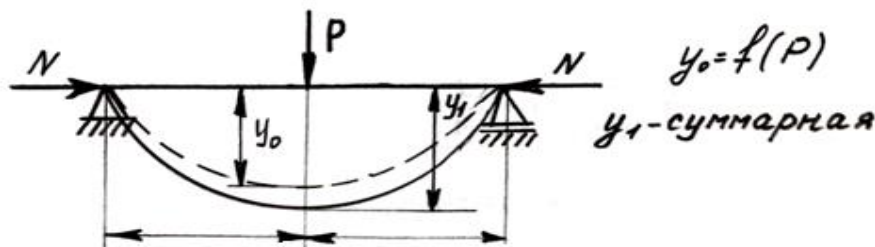
$$y = f_1 \sin \frac{\pi x}{l} + f_2 \sin \frac{2\pi x}{l} + f_3 \sin \frac{3\pi x}{l} + \dots \quad (1)$$



**Рисунок 1.** Геометрическая интерпретация разложения в тригонометрический ряд  $f_i \sin(n\pi x/l)$ .

В реальных же конструкциях равномерно распределенная нагрузка практически всегда распределена не по закону синуса и такое допущение может приводить к неправильным результатам.

Известно, что для конструкций подверженных сжатию с изгибом, принцип суперпозиции не применим, так как от продольной силы появляется дополнительный изгибающий момент, что в свою очередь приводит к дополнительным деформациям (см. рис. 2).



**Рисунок 2.** Геометрическая схема деформаций прямого стержня при продольно-поперечном изгибе

Согласно первой методики расчета сжато-изгибаемых элементов, предложенной в тридцатых годах прошлого столетия, краевые напряжения находятся по формуле Ф.С. Ясинского:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} + \frac{M}{W} = \frac{N}{F} \left( \frac{1}{\varphi_m} + \frac{e}{\rho} \right); \quad (2)$$

где  $\varphi_m$  - коэффициент центрального продольного изгиба в плоскости действия момента.

Неточность данной формулы обуславливается тем, что в ней воздействие момента накладывается на напряжения потери устойчивости центрального продольного изгиба. На эту неточность обращали внимание авторы [1], [2]. При этом, решение данной задачи в [1] и [2] предлагается выполнять с учетом дополнительного изгибающего момента полученного от

сжимающей нагрузки в деформированном состоянии системы. Краевые напряжения в таком случае находятся по формуле сложного сопротивления:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} + \frac{N(f_0 + f_d)}{W}; \quad (3)$$

где:  $f_0$  – прогиб от поперечной нагрузки;  $f_d$  – дополнительный прогиб от изгибающего момента.

Формула (3) и ее решение выглядит в [1], [2] по-разному. Так в [1] она представлена в следующем виде (вторая методика расчета сжато-изгибаемых конструкций):

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} + \frac{Nf}{W}; \quad (4)$$

$$\text{где } f = \frac{M}{N_3 \left(1 - \frac{N}{N_3^{\text{кр}}}\right)},$$

таким образом (3) приобретает вид:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W \left(1 - \frac{N}{N_3^{\text{кр}}}\right)}; \quad (5)$$

Величину  $1 - \frac{N}{N_3^{\text{кр}}} = \xi$  преобразуем, заменив  $N_3^{\text{кр}} = F_{6p} R_c \varphi_3$ , где

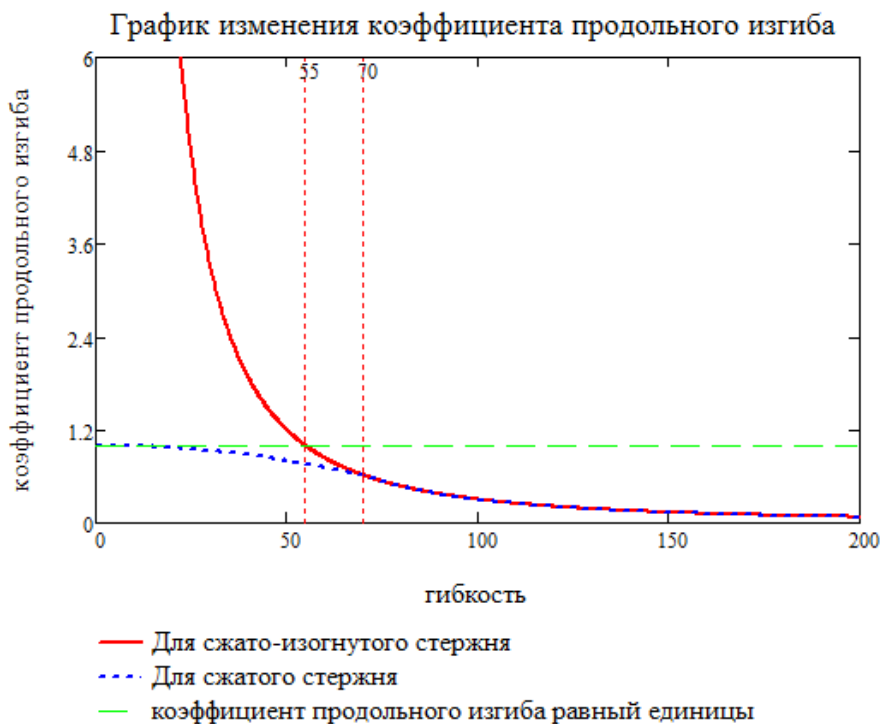
$$\varphi_3 = \frac{3100}{\lambda^2} \quad (6),$$

Таким образом, окончательно получаем формулу следующего вида:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W\xi}; \quad (7)$$

$$\text{где } \xi = \left(1 - \frac{N}{\varphi R_c F_{6p}}\right) \quad (8)$$

При этом тот факт, что при  $\lambda < 55$  коэффициент  $\varphi > 1$ , никаким образом не комментируется с точки зрения устойчивости как физического явления (см. рис. 3). На этот факт также обращали внимание Е.Н. Серов [6], В.З. Клименко [7].



**Рисунок 3.** График изменения коэффициента продольного изгиба от гибкости

Третья методика расчета сжато-изгибаемых конструкций изложена в [2]. Согласно ей, максимальные краевые напряжения находятся по формуле сложного сопротивления в следующем виде:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} + \frac{\Delta M}{W}; \quad (9)$$

где  $\Delta M = Nf$  - увеличение момента от прогиба стержня, где прогиб от действия продольной силы и момента, определяется по формуле:

$$f = \frac{f_0}{\left(1 - \frac{N}{N_3}\right)}; \quad (10)$$

Здесь:  $f_0$  - прогиб от действия момента  $f_0 = \frac{Ml^2}{\alpha EI}$ ,

$N_3$  - критическая сила Эйлера, равная  $\frac{\pi^2 EI}{l^2}$ ,

$\alpha$  - коэффициент, зависящий от вида приложения нагрузки.

Основным недостатком данной формулы является то, что она не является универсальной при расчетах сжато-изгибаемых конструкций, ввиду сложности использования коэффициента  $\alpha$ , который как известно напрямую зависит от вида приложения нагрузки и представлен в [2] только для прямых стержней.

Четвертый метод расчета был предложен Е.Н. Серовым [3], который предложил использовать дифференциальное уравнение изогнутой оси для прямолинейного стержня в виде:

$$y'' + k^2 y = \frac{M_x}{EI} + \frac{n}{GF} \frac{d^2 M_x}{dx^2} \quad (11)$$

$$\text{где } k^2 = \frac{N}{EI}, \quad \frac{d^2 M_x}{dx^2} = \frac{dQ_x}{dx}$$

$n$  - коэффициент формы сечения.

Решение было получено путем непосредственного интегрирования дифференциального уравнения прогибов (11) методом начальных параметров. Такой метод позволяет получить уравнения прогибов, изгибающих моментов и поперечных сил с учетом деформированного состояния конструкции.

Основным недостатком данной методики является то, что она не учитывает возможную потерю устойчивости стержня, в тех случаях, когда напряжения от изгиба значительно меньше напряжений от сжатия.

Еще одна методика расчета сжато-изгибаемых стержней, рассматривается в [4], она основана на определении деформированного состояния системы по формуле Максвелла-Мора.

В общем случае для прямолинейного стержня перемещения  $i$ -той осевой точки находятся из следующей выражений:

горизонтальные перемещения:

$$U_i = \sum_{j=1}^n \int \frac{M_{U1} \cdot M_{qj}}{E_i J_i} \cdot dx + \sum_{j=1}^n \int \frac{N_{U1} N_{qj}}{E_i F_i} \cdot dx + \mu \sum_{j=1}^n \int \frac{Q_{U1} \cdot Q_{qj}}{G_i F_i} \cdot dx;$$

вертикальные перемещения:

$$V_i = \sum_{j=1}^n \int \frac{M_{V1} \cdot M_{qj}}{E_i J_i} \cdot dx + \sum_{j=1}^n \int \frac{N_{V1} N_{qj}}{E_i F_i} \cdot dx + \mu \sum_{j=1}^n \int \frac{Q_{V1} \cdot Q_{qj}}{G_i F_i} \cdot dx,$$

где:  $M_{u1}$ ,  $N_{u1}$ ,  $Q_{u1}$  – внутренние усилия от единичной горизонтальной силы, приложенной в  $i$ -той точке;

$M_{v1}$ ,  $N_{v1}$ ,  $Q_{v1}$  – внутренние усилия от единичной вертикальной силы, приложенной в  $i$ -той точке;

$M_{qj}$ ,  $N_{qj}$ ,  $Q_{qj}$  – внутренние усилия от  $j$ -той рабочей нагрузки, приложенной произвольно,  $j=1 \dots n$ ;

$\mu$  - безразмерная постоянная, зависящая от формы поперечного сечения.

Напряженно-деформированное состояние определяется следующим образом. После приложения нагрузки определяются внутренние усилия  $M$ ,  $N$ ,  $Q$  и вычисляются перемещения  $VM1_i, VN1_i, VQ1_i$  и  $UM1_i, UN1_i, UQ1_i$  на 1-ом этапе деформирования

$$UM1_i = \sum_{j=1}^n \int \frac{M_{U1} \cdot M_{qj}}{E_i J_i} \cdot dx; \quad UN1_i = \sum_{j=1}^n \int \frac{N_{U1} N_{qj}}{E_i F_i} \cdot dx; \quad UQ1_i = \mu \sum_{j=1}^n \int \frac{Q_{U1} \cdot Q_{qj}}{G_i F_i} \cdot dx;$$
$$VM1_i = \sum_{j=1}^n \int \frac{M_{V1} \cdot M_{qj}}{E_i J_i} \cdot dx; \quad VN1_i = \sum_{j=1}^n \int \frac{N_{V1} N_{qj}}{E_i F_i} \cdot dx; \quad VQ1_i = \mu \sum_{j=1}^n \int \frac{Q_{V1} \cdot Q_{qj}}{G_i F_i} \cdot dy.$$

После необходимого количества итераций, находят деформированную ось конструкции от приложенной нагрузки и внутренние усилия с учетом деформированного состояния конструкции  $M_d, N_d, Q_d$ .

Краевые напряжения в этом случае определяются:

$$\sigma = \frac{N_d}{A} + \frac{M_d}{W}; \quad (12)$$

Эта методика может быть использована при расчете большепролетных непрямолинейных конструкций, таких как арки, рамы и т.п. Так как при расчете таких конструкций отношение напряжений от изгиба к напряжениям от сжатия как правило всегда больше 0.1 [5], а также такие конструкции не подвержены потери устойчивости первого рода, что подтверждается испытаниями и теоретическими выкладками в работах Е.Н. Серова [6], А.Ю. Зобачевой [9].

Г.В. Свенцицкий [5] при изучении напряженно-деформированного состояния сжато-изгибаемых стержней, отмечал, что при малых гибкостях теория краевых напряжений дает преуменьшенную несущую способность, а при больших гибкостях получаются недостоверные результаты, так как еще до достижения краевыми напряжениями сжатия величины расчётного сопротивления стержень теряет устойчивость. Г.В. Свенцицкий [5] решил задачу устойчивости прямого стержня, рассматривая предельное равновесие между моментом внешних сил  $M_a = P(e + f)$  и моментом внутренних напряжений  $M_i = E_k J / \rho$ . Несмотря на удовлетворительные результаты, этот метод, вследствие большой трудоемкости практического применения не нашел.

Так же следует отметить, что совершенствование метода расчета сжато-изгибаемых деревянных элементов строительных конструкций описано в [10], [12]. Распределение напряжений по поперечному сечению определяется распределением деформаций в сечении и зависимостью  $\sigma$ - $\varepsilon$ . Принимается, что деформации распределяются по линейному закону и ось нулевых деформаций совпадает с осью нулевых напряжений.

Для аппроксимации работы древесины при сжатии используется кубическая парабола вида:

$$\sigma_c = A_1 \varepsilon - A_2 \varepsilon^3$$

Связь между напряжениями и деформациями в растянутой зоне сечения соответствуют закону Гука:

$$\sigma_p = E_p \varepsilon$$

Главный вектор  $P_{вн}$  и главный момент  $M_{вн}$  эпюры нормальных напряжений наиболее нагруженного сечения определяют из соотношения:

$$P_{вн} = b \int_0^h \sigma(x) dx; M_{вн} = b \int_0^h \sigma(x) \left(x - \frac{h}{2}\right) dx,$$

где разность  $x - \frac{h}{2}$  - расстояние от рассматриваемого волокна до центра тяжести сечения.

Для нахождения условия критического состояния используется критерий, предложенный Р.С. Санжаровским [11].

$$\delta M = \delta M_{вн}; \delta P_{вн} = 0.$$

Основным недостатком этой методики является допущение о деформированном состоянии конструкции по закону синуса, что в свою очередь не позволяет применять данный метод расчета как универсальный для любого типа конструкций.

Расчет сжато-изгибаемых конструкций, так же можно проводить с помощью современных программных комплексов, таких как Lira, SCAD, основанных на МКЭ. Для учета деформированного состояния, решение ведется с учетом геометрической нелинейности. В SCAD для учета геометрической нелинейности необходимо использовать тип элемента 301 - 310. Расчет ведется в нелинейной постановке. При моделировании нелинейных нагрузок

предлагается три метода: шаговый, шаговый с учетом невязки и шагово-итерационный. Для учета геометрической нелинейности в Lira, необходимо использовать тип элемента 309. Решение ведется с учетом моделирования нелинейных нагрузок, следующими методами решения: простой шаговый, автоматический выбор шага с поиском новых форм равновесия, автоматический выбор шага для геометрически и физически нелинейных задач. В результате такого расчета получают внутренние усилия с учетом деформированного состояния конструкции  $M_d$ ,  $N_d$ ,  $Q_d$ . Краевые напряжения находятся по (12).

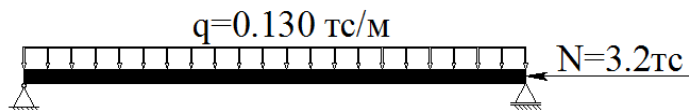
Применение такого метода, позволяет решать задачи любого очертания геометрической оси конструкции, но при решении задач с переменной жесткостью по длине конструкции, необходимо увеличивать число конечных элементов, либо производить решение с помощью пластинчатых или объемных элементов, что в значительной степени увеличивает временные затраты на решение задачи.

В EuroCode5 расчет сжато-изгибаемых конструкций в плоскости изгиба выполняют по следующей формуле:

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.0.d}} \leq 1$$

где:  $k_{c.y}$  - коэффициент продольного изгиба [8],  $f_{c.0.d}$ ,  $f_{m.0.d}$  - расчетная несущая способность сжатию и изгибу,  $\sigma_{c.0.d}$ ,  $\sigma_{m.y.d}$  - максимальные напряжения от сжатия и изгиба.

Для сравнительной оценки вышеописанных методик, проведем количественное сравнение максимальных краевых напряжений, а также коэффициентов учета деформированного состояния  $\xi$ , при различных гибкостях стержня. Расчетная длина стержня 7м, сжимающая сила  $N=3.2$  тс, и равномерно-распределенная нагрузка  $q = 130$  кгс/м. (см. рис. 4).



**Рисунок 4.** Расчетная схема сжато-изгибаемого стержня

Для сравнительного анализа, взяты 7 деревянных балок прямоугольного сечения шириной сечения 16см, и с разной высотой сечения, кратной 33мм, для моделирования различных гибкостей стержня. Что соответствует следующему соотношению изгибных и сжимающих напряжений  $\sigma_{из}/\sigma_{сж}=7.5/1; 5.5/0.8; 4.2/0.7; 3.3/0.7; 2.7/0.6; 2.2/0.5; 1.9/0.5$ .

Результаты расчетов приведены в таблице 1, 2, а также на графиках зависимости  $\xi$ - $\lambda$ ,  $\sigma$ - $\lambda$ .

**Таблица 1**

**Коэффициент  $\xi$  по разным методикам**

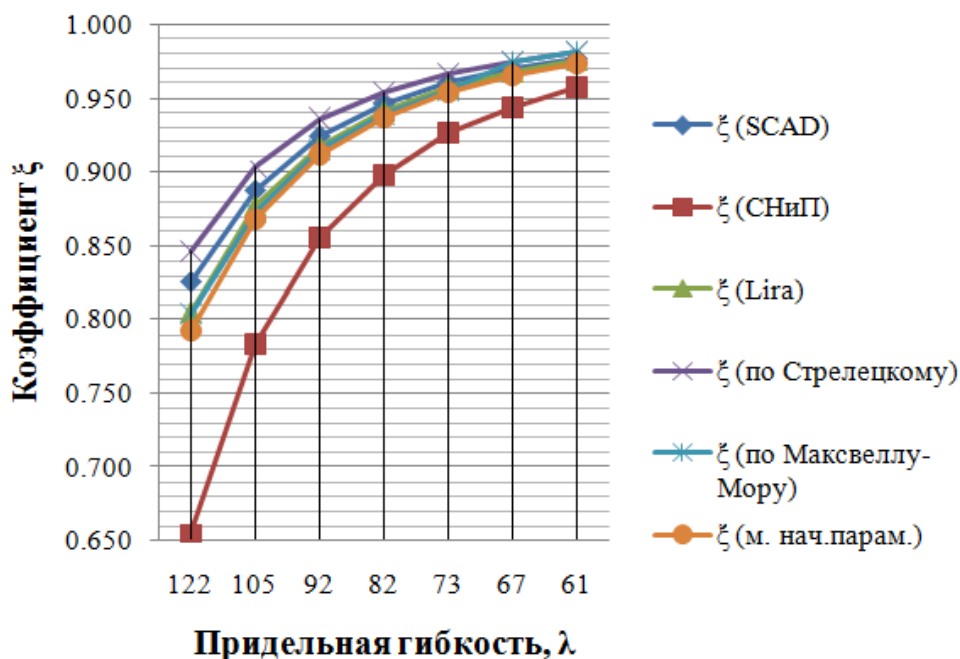
Гибкость $\lambda_{снип}$	По СНиП $\xi_{снип}$	LIRA $\xi_1=M/M1$	SCAD $\xi_2=M/M2$	Н.С. Стрелецкий $\xi_3=M/M3$	По методу перемещений $\xi_4=M/M4$	По методу начальных параметров Серов Е.Н. $\xi_5=M/M5$
122	0.656	0.805	0.826	0.846	0.804	0.792
105	0.783	0.877	0.887	0.903	0.873	0.868
92	0.855	0.917	0.924	0.935	0.915	0.911
82	0.898	0.942	0.946	0.954	0.939	0.937

Гибкость $\lambda_{снп}$	По СНиП $\xi_{снп}$	LIRA $\xi_1=M/M1$	SCAD $\xi_2=M/M2$	Н.С. Стрелецкий $\xi_3=M/M3$	По методу перемещений $\xi_4=M/M4$	По методу начальных параметров Серов Е.Н. $\xi_5=M/M5$
73	0.926	0.957	0.961	0.967	0.955	0.954
67	0.944	0.968	0.970	0.975	0.966	0.965
61	0.957	0.975	0.977	0.981	0.973	0.973

**Таблица 2**

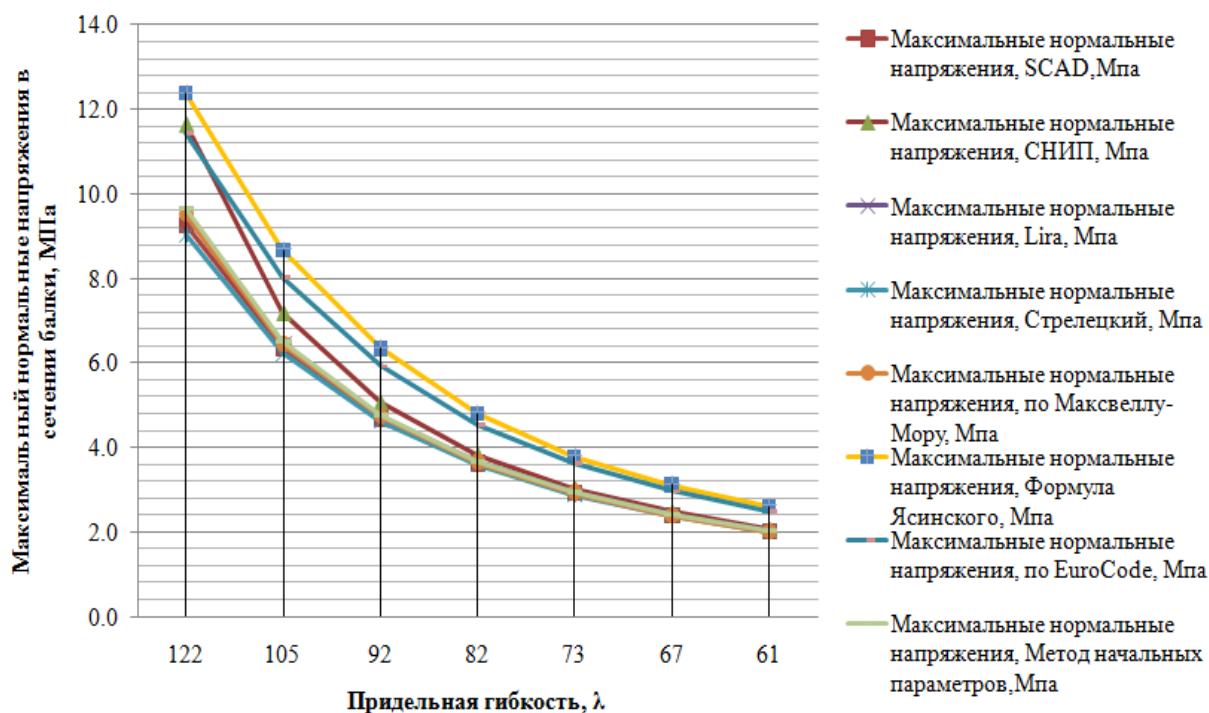
**Разница коэффициента  $\xi$  от нормативного по СП**

Гибкость $\lambda_{снп}$	$\frac{\xi_1 - \xi_{снп}}{\xi_1}$	$\frac{\xi_2 - \xi_{снп}}{\xi_2}$	$\frac{\xi_3 - \xi_{снп}}{\xi_3}$	$\frac{\xi_4 - \xi_{снп}}{\xi_4}$	$\frac{\xi_5 - \xi_{снп}}{\xi_5}$
	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_3$	$\xi_4$	$\xi_5$
	100%	100%	100%	100%	100%
122	18.52%	20.57%	22.46%	18.41%	17.20%
105	10.71%	11.75%	13.29%	10.31%	9.83%
92	6.80%	7.43%	8.56%	6.56%	6.15%
82	4.65%	5.08%	5.87%	4.37%	4.14%
73	3.29%	3.60%	4.24%	3.04%	2.93%
67	2.48%	2.71%	3.18%	3.18%	2.19%
61	1.88%	2.06%	2.45%	2.45%	1.69%



*Рисунок 5. График зависимости  $\xi$ - $\lambda$*





**Рисунок 6.** График зависимости  $\sigma$ - $\lambda$

Проанализировав данные графики можно сделать следующий вывод:

1. При гибкости стержней  $\lambda < 100$ , максимальные нормальные напряжения в стержнях при всех предложенных методиках имеют приблизительно одинаковый результат, за исключением расчетов по EuroCode 5 и расчету с помощью формулы Ф.С. Ясинского. Это связано с тем, что в этих методиках воздействие изгибающего момента накладывается на напряжения потери устойчивости центрального продольного изгиба.
2. При гибкости стержней  $\lambda > 100$ , некоторые методики дают завышенные значения напряжений (до 22%).
3. Большинство имеющихся на сегодняшний день методик, позволяющих с большой точностью выполнять расчеты сжато-изгибаемых конструкций, в том числе и описанная в СП 64.13330.2011, позволяют рассчитывать только прямолинейные сжато-изгибаемые конструкции. Для непрямолинейных конструкций решение по существующим методикам приводит к завышенным результатам, что приводит к увеличению материалоемкости и как следствие снижению конкурентоспособности на рынке строительных материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Карлсен, Г.Г. Деревянные конструкции / Г.Г. Карлсен, В.В. Большаков, М.Е. Каган, Г.В. Свенцицкий. – М.: СИ, 1961. - 642 с.
2. Стрелецкий, Н.С. Основы металлических конструкций. Часть 1 / Н.С. Стрелецкий. – М.: СИ, 1940. - 844 с.
3. Светозарова Е.И., Серов Е.Н., Душечкин С.А., Попов В.Д. Опыт проведения испытания клееных рам пролетом 18 м. - В кн.: Повышение надежности и долговечности строительных конструкций: Межвуз. темат. сб. тр. Л.: ЛИСИ, 1972. с. 97-114.
4. Шмидт, А.Б. К расчету криволинейных сжато-изгибаемых трехшарнирных систем из клееной древесины и фанеры по деформированной схеме.-Известия вузов. Строительство, 1999 г.
5. Свенцицкий Г.В. Устойчивость внецентренно сжатых деревянных стержней // Исследование прочности и устойчивости деревянных стержней: Сб. ЦНИПС. – М.: Стройиздат 1940. – с. 14-55.
6. Серов Е.Н. Рациональное использование анизотропии прочности материалов в клееных деревянных конструкциях массового изготовления: дис. ... д-ра техн. наук / Е.Н. Серов; Л.: ЛИСИ, 1989. - 521 с.
7. Клименко В.З. Феноменологический подход к расчету сжато-изгибаемых деревянных элементов / В.З. Клименко // Строительная механика и расчет сооружений. - 2011. – №1. - С. 7-11.
8. Порто Д. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 5: Проектирование деревянных конструкций // Москва:МГСУ. 2013. С. 308.
9. Зобачева, А.Ю. Совершенствование расчетных моделей и экспериментальное обоснование методики оценки устойчивости большепролетных арочных конструкций из клееной древесины: дис. ... канд. техн. наук: Перм. нац. исслед. политехн. ун-т. - Пермь, 2012. - 111 с.
10. А.С. Вареник Устойчивость внецентренно-сжатых деревянных элементов при кратковременном нагружении // Вестник Новгородского Государственного Университета. 2013. №75 Т.1 с. 7-12.
11. Санжаровский Р.С. Устойчивость элементов строительных конструкций при ползучести. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 216 с.
12. Шеховцов А.С. К вопросу устойчивости внецентренно-сжатых деревянных стержневых элементов сетчатых куполов // Промышленное и гражданское строительство. - 2007. - №3. – с. 49-50.

**Grankin Kirill Vladimirovich**

Saint Petersburg state university of architecture and civil engineering, Russia, Saint Petersburg  
E-mail: [gran1256@mail.ru](mailto:gran1256@mail.ru)

**Aleksand Borisovich Schmidt**

Saint Petersburg state university of architecture and civil engineering, Russia, Saint Petersburg  
E-mail: [ukftpz@lan.spbgasu.ru](mailto:ukftpz@lan.spbgasu.ru)

## **The calculation methods compressed-bent constructions from glulam timber**

**Abstract.** The authors of the article consider the existing methods calculation of linear glued laminated timber compressed-bent bars. For each of these methods calculation of compressed-bent bars including existing standard methods of the Russian Federation (СП 64.13330.2011) and of the European Union (EuroCode 5) the errors and framework for the use methods have been found. The authors of the article have carried out comparative analysis of results of existing analytic methods and results got from solving the task using finite element analysis with modern software such as SCAD Office and Lira Soft. Also in the article the authors make numerical experiment for all being considered methods for linear compressed-bent bar with 7 m width of span. Based on results of the numerical experiment deformed status accounting coefficient- flexibility and maximums of marginal direct stress - flexibility charts are plotted. There are conclusions in the end of the article based on comparing results got from the spent numerical experiment for different methods calculation of compressed-bent bars.

**Keywords:** glulam timber constructions; compressed - bent constructions; geometric nonlinearity; formula Maxwell - Mora`s; displacement method; method of initial parameters

## REFERENCES

1. Karlsen, G.G. Derevyanye konstruksii / G.G. Karlsen, V.V. Bol'shakov, M.E. Kagan, G.V. Svetsitskiy. – M.: SI, 1961. - 642 s.
2. Streletskiy, N.S. Osnovy metallicheskih konstruksiy. Chast' 1 / N.S. Streletskiy. – M.: SI, 1940. - 844 s.
3. Svetozarova E.I., Serov E.N., Dushechkin S.A., Popov V.D. Opyt provedeniya ispytaniya kleenykh ram proletom 18 m. - V kn.: Povyslenie nadezhnosti i dolgovechnosti stroitel'nykh konstruksiy: Mezhvuz. temat. sb. tr. L.: LISI, 1972. s. 97-114.
4. Shmidt, A.B. K raschetu krivolinyeynykh szhato-izgibaemykh trekhsharnirnykh sistem iz kleenoy drevesiny i fanery po deformirovannoy skheme.-Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo, 1999 g.
5. Svetsitskiy G.V. Ustoychivost' vnetsentrenno szhatykh derevyannykh sterzhney // Issledovanie prochnosti i ustoychivosti derevyannykh sterzhney: Sb. TsNIPS. – M.: Stroyizdat 1940. – s. 14-55.
6. Serov E.N. Ratsional'noe ispol'zovanie anizotropii prochnosti materialov v kleenykh derevyannykh konstruksiyakh massovogo izgotovleniya: dis. ... d-ra tekhn. nauk / E.N. Serov; L.: LISI, 1989. - 521 s.
7. Klimenko V.Z. Fenomenologicheskyy podkhod k raschetu szhato-izgibaemykh derevyannykh elementov / V.Z. Klimenko // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. - 2011. – №1. - S. 7-11.
8. Porto D. Rukovodstvo dlya proektirovshchikov k Evrokodu 5: Proektirovanie derevyannykh konstruksiy // Moskva:MGSU. 2013. C. 308.
9. Zobacheva, A.Yu. Sovershenstvovanie raschetnykh modeley i eksperimental'noe obosnovanie metodiki otsenki ustoychivosti bol'sheproletnykh arochnykh konstruksiy iz kleenoy drevesiny: dis. ... kand. tekhn. nauk: Perm. nats. issled. politekhn. un-t. - Perm', 2012. - 111 s.
10. A.S. Varenik Ustoychivost' vnetsentrenno-szhatykh derevyannykh elementov pri kratkovremennom nagruzhении // Vestnik Novgorodskogo Gosudarstvennogo Universiteta. 2013. №75 T.1 s. 7-12.
11. Sanzharovskiy R.S. Ustoychivost' elementov stroitel'nykh konstruksiy pri polzuchesti. L.: Izd-vo LGU, 1984. 216 s.
12. Shekhovtsov A.S. K voprosu ustoychivosti vnetsentrenno-szhatykh derevyannykh sterzhnevnykh elementov setchatykh kupolov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. - 2007. - №3. – s. 49-50.