

Устойчивость элементов конструкций из LVL

**Аннотация.** В редакции СП 64.13330.2017, вступившей в силу 29 января 2024 года произошли важные изменения: коэффициент A, используемый для расчета на устойчивость деревянных стержней с гибкостью более 70, был пересмотрен для LVL, изготовленного из однонаправленного шпона. Это стало важным шагом в правильной оценке прочностных характеристик данного материала. Тем не менее, новые данные по-прежнему не позволяют более точно учитывать физико-механические свойства LVL. Установление коэффициента A для LVL на уровне обычной древесины вызывает сомнения, поскольку LVL является усовершенствованным вариантом клееных деревянных элементов с более высокими механическими характеристиками и представляет собой ортотропный материал, в отличие от клееной транстропной древесины.

Целью настоящего исследования является определение напряженно-деформированного состояния элемента конструкций из LVL, изучения устойчивости и актуализация методики расчета на устойчивость центрально-сжатых стержней с гибкостью более 70 в части формулы для определения коэффициента продольного изгиба.

**Ключевые слова:** метод расчета, длительный модуль упругости, LVL, сжатие, устойчивость, модуль упругости.

Нормативная методика расчета на устойчивость центрально-сжатых стержней с гибкостью более 70 основывается на классической теории Эйлера для упругого стержня. Тем не менее, при анализе расчета на устойчивость стержня по СП64.13330.2017 [1] было выявлено, что для различных видов закрепления при расчете стержня на устойчивость при центральном сжатии не учитывается значение модуля упругости.

Поэтому первой стадией исследования было сравнение максимальной продольной силы по СП64.13330.2017 п.7.2 [1] и по формуле Эйлера

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{мин}}{l^2}$$

В качестве пример была взята стойка сечением 100x100 мм длиной 3 м при различных типах закрепления: шарнирно-закрепленные концы (№1), один шарнирно-закрепленный, другой защемленный конец (№2), один защемленный, другой свободный конец (№3), оба защемленные концы (№4).

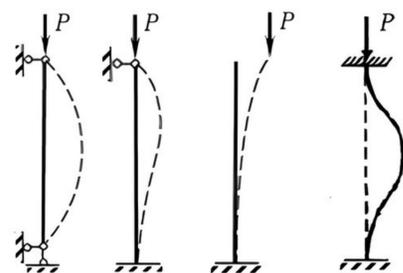


Рисунок 1 – Типы закрепления:

- 1 – шарнирно-закрепленные концы;
- 2 – один шарнирно-закрепленный, другой защемленный конец;
- 3 – один защемленный, другой свободный конец;
- 4 – оба защемленные концы.

Таблица 1 – Сравнение результатов расчета по СП 64.13330.2017 и по формуле Эйлера

Стойка с закреплением	Крит. сила по Эйлеру (кН)	Максимальная продольная сила по СП (кН) методом итерации	Проверка на устойчивость по СП при силе по Эйлера (МПа)	Проверка на устойчивость по СП (МПа)	Расхождение в силе (%)	Проходит ли расчет по СП при силе по Эйлера
1	91,39	69,44	39,48	30	31,60	нет
2	142,79	108,50	39,48	30	31,60	нет
3	18,88	14,34	39,48	29,98	31,67	нет
4	216,30	190,48	34,06	30	13,55	нет

В результате сравнения было выявлено, что максимальная продольная сила по Эйлера превышает аналогичный показатель по СП 64.13330.2017 на 31,6 % в случае гибкости стержня больше 70 и на 13,5 % в случае гибкости менее 70. Вследствие чего возникает гипотеза о том, что несущая способность конструкций из LVL по нормам недооценена, это значит, что использование материала неэкономно.

При дальнейшей стадии исследования из книги «Деревянные конструкции» [2] была взята теория согласно которой под воздействием продолжительной нагрузки модуль упругости подвергается снижению в таких же пропорциях, как и предел прочности. Таким образом, отношение длительного модуля упругости к длительному пределу прочности также же, как и при скоростных испытаниях:

$$\frac{E_{длит}}{R_{длит}} = \frac{E}{R}$$

Для определения длительного расчетного сопротивления сжатию обратимся к формуле в п. 6.1 СП 64.13330.2017 [1], при вычислении всех типов и классов прочности материалов произведем коэффициенты условий работы принимаем равным единице, коэффициент длительной прочности равным 0,8, так как деревянные несущие стойки рассчитываемые как центрально сжатые применяются в основном для зданий с режимом нагружения «Г», а коэффициент надежности по материалу равным 1,15 по табл. 6 того же СП.

Для определения влияния длительности действия нагрузки [3] на модуль упругости обратимся к п. 6.11 – 6.12 СП 64.13330.2017 [1]. Однако, формула по п. 6.12 приводит к тому же значению 300, которое исследуется, поэтому обратимся к п. 6.11. Сведем результаты расчета в табличную форму для удобства сравнения. Данные для сравнения взяты из учебного пособия «Несущая способность элементов строительных LVL-конструкций» [4]:

Таким образом, в результате сравнения было выявлено: значение коэффициента  $k = \frac{E}{R}$  при нормативных значениях значительно отличается от среднего значения 300 из нормативных документов как в большую, так и в меньшую сторону; значение коэффициента  $k = \frac{E_{длит}}{R_{длит}}$  с учетом влияния длительности действия на 15 процентов превышает значения того же коэффициента без учета данного влияния. Это свидетельствует о том, что значения предела прочности и модуля упругости снижаются не в одном и том же отношении, соответственно отношение длительного модуля упругости к длительному пределу прочности не остается таким же, как и при скоростных испытаниях.

Таблица 2 – Сравнение результатов расчета коэффициента k

№п/п	Тип LVL	По литературе	E0cp	Rcp	k	Eдлит	Rдлит	k	Расхождение k (%)
1	1/K45	СП 64.13330.2017	12000	37	324,32	9600	25,74	372,97	15
2	2/K40		11000	35	314,29	8800	24,35	361,43	15
3	3/K35		10000	32	312,50	8000	22,26	359,38	15
4	I	ГОСТ 33124-2021	12000	36	333,33	9600	25,04	383,33	15
5	II		7000	37	189,19	5600	25,74	217,57	15
6	III		7000	32	218,75	5600	22,26	251,56	15
7	1	Технические условия Ultralam	12000	36	333,33	9600	25,04	383,33	15
8	2		14000	56	250,00	11200	38,96	287,50	15
9	3		16000	55	290,91	12800	38,26	334,55	15
10	4	Данные финского гос.-научного технического Центра VTT Technical Research Centre of Finland (valtion teknillinen tutkimuskeskus)	15300	45	340,00	12240	31,30	391,00	15
11	5		7000	27	259,26	5600	18,78	298,15	15
12	1		11600	35	331,43	9280	24,35	381,14	15
13	2	8300	19	436,84	6640	13,22	502,37	15	
14	3	8800	26	338,46	7040	18,09	389,23	15	

**Вывод**

Таким образом, в ходе теоретического исследования было выявлено, что существующий метод оценки устойчивости по СП не учитывает ряд факторов, способных существенно повлиять на результаты расчетов.

Необходимость таких исследований связана с разработкой конструктивных решений обладающих меньшей материалоемкостью, что достаточно актуально в настоящее время.

Отсюда следует, что в расчетные положения о вычислении продольного изгиба необходимо внести изменения по замене постоянного числителя A на переменное значение  $\pi^2 \cdot \frac{E}{R}$  для каждого вида материала и класса прочности.

*Литература*

1. СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 (с Изменениями № 1-4)». // Кодекс: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов.
2. Деревянные конструкции, издание 3-е, под редакцией чл.-корр. АСИА СССР д-ра техн. наук проф. Г.Г. Карлсена // Г.Г. Карслен, В.В. Большаков, М.Е. Казан, К.В. Александровский, И.В. Бочкарев, А.И.Фоломин «Ленинградский инженерно-строительный институт»
3. Влияние новых расчетных характеристик древесины на определение коэффициента продольного изгиба // Арленинов Д.К. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Россия
4. Несущая способность элементов строительных LVL-конструкций // П.С. Коваль, Е.В. Данилов, М.Б. Москалев, А.И. Притыкин «Санкт-Петербургский государственный университет» Санкт-Петербург, Россия