

УДК 624.011

## **Комментарии к отказу от нормативного метода расчета сжато-изгибаемых деревянных элементов**

**Клименко В.З., к.т.н.**

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Украина

**Анотація.** У нормативному документі по проектуванню дерев'яних конструкцій немає місця методу розрахунку, математична формалізація якого суперечить фізичним явищам. Таким став нормативний метод розрахунку стиснуто-згинальних елементів із клеєної деревини. Наукового пояснення (*nervas probandi* – лат., вирішального аргументу) можливості використання в ньому коефіцієнта поздовжнього згину більше за одиницю і, одночасно, двох модулів пружності деревини бути не може. Від подібного методу розрахунку із протиприродним змістом його основи слід відмовитися.

**Аннотация.** В нормативном документе по проектированию деревянных конструкций не место расчета, математическая формализация которого противоречит физическим явлениям. Таким стал нормативный метод расчета сжато-изгибаемых элементов из клееной древесины. Научного объяснения (*nervas probandi* – лат., решающего аргумента) возможности использования в нем коэффициента продольного изгиба больше единицы и, одновременно, двух модулей упругости древесины быть не может. От такого метода расчета с противоположным содержанием его основы следует отказаться.

**Abstract.** It is inappropriately to place in the normative document for design of wooden structures the calculation method, a mathematical formula of which contradicts the physical phenomena. So became the normative procedure for calculation of beam-bending elements made of laminated wood. There can be no scientific explanation (*nervas probandi* – Lat. decisive argument) concerning the possibility to apply the buckling ratio, which is greater than one, simultaneously with two modulus of wood elasticity. Such a calculation method of perverted nature in its content should be abandoned.

**Ключевые слова:** pro et contra нормативного метода расчета сжато-изгибаемых деревянных элементов.

**De omnibus dubitandum** (лат. сомневайся во всем). Сомнения<sup>1</sup> относительно некоторых правил СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции. Нормы проектирования» появились у автора давно. Они накапливались при выполнении студентами курсового проекта по дисциплине «Деревянные конструкции». Нормативно-правовой государственный документ был обязательным для соблюдения, но отдельные поправки к нему автор позволил в учебном пособии [1] и очень скромно в учебнике [2].

---

<sup>1</sup> «Сомнение доставляет мне не меньшее наслаждение, чем знание». М. Монтень (1533-1592).

Разработка национальных норм по проектированию деревянных конструкций способствовала реализации в них необходимых, по мнению автора, методологических предложений, отличающихся от требований СНиП. Обоснование принципиально новых положений национального стандарта (ДСТУ) стало главной темой научных публикаций автора последних лет. Этому же посвящена статья [3], реакцией на которую стала публикация [4]. В [3] автор высказал недоумение и несогласие с двумя модулями упругости древесины в нормативном методе расчета сжато-изгибаемых элементов. В своей статье автор не касался диаграммы « $\sigma - \varepsilon$ » при центральной сжатии стержня, что стало основным содержанием [4]. Автор признается в том, что ему не был известен подход Ф. Р. Шенли к концепции Энгессера-Кармана и Ф. С. Ясинского. Но это не меняет отношения автора к двум модулям упругости. В СНиП II-25-80, в отличие от всех предыдущих норм, приняты два модуля упругости древесины:  $E$  – при расчете конструкций по предельным состояниям второй группы;  $E^1$  – при расчете конструкций на устойчивость и на прочность по деформированной схеме. Такое нормативное требование должно иметь серьезное обоснование. Несогласие автора с возможностью двух модулей упругости, высказанное в [5] и сформулированное в [3] как «два модуля упругости в одном», осталось. В [4] не дано обоснования необходимости использования модуля  $E^1$ , установленного по диаграмме « $\sigma - \varepsilon$ » при центральной сжатии, при расчете прочности сжато-изгибаемых элементов в деформированном состоянии. Автор не убежден, что в этом есть необходимость, а расчет с использованием двух модулей упругости древесины вносит в понимание физических явлений прочности и деформативности сжато-изгибаемых элементов неразрешимые противоречия. Об этом в данной статье.

Начиная с первых норм проектирования деревянных конструкций еще методом допускающих напряжений, возможность появления упругопластических деформаций в сжатых стержнях при малых гибкостях учитывалась вычислением коэффициента продольного изгиба вне зависимости от гибкости стержня по формуле:

$$\varphi = A / \lambda^2 . \quad (1)$$

Этого было достаточно до СНиП II-25-80, в которых параметр  $A$  предложено находить не с использованием нормального модуля упругости  $E$ , а с использованием модуля упругости  $E^1$ . При этом в расчете по предельным состоянием второй группы сохранялся модуль упругости  $E$ . Именно это обстоятельство позволило автору в [3] охарактеризовать  $E^1$  странном модулем. Сделано это не с позиции продольного изгиба, а с позиции продольно-поперечного изгиба стержня.

**Cum principia negante non est disputandum** (лат., с отрицающим основы не спорят). Публикации [3] и [4], по сути, – научный спор (в [4] статья [3] рассматривается как повод к дискуссии), в котором, как известно, могут применяться разные доводы в пользу одной и другой спорящих сторон. Физические явления продольного и продольно-поперечного изгиба различны, они формализованы разными дифференциальными уравнениями изогнутых осей стержней. Поэтому применение закономерностей одного физического явления к объяснению иного физического явления должно иметь серьезную аргументацию. В противном случае сознательное применение в споре неправильных доводов, в терминологии общей философии, будет называться софистикой.

В далекие тридцатые годы прошлого столетия, когда была разработана теория краевых напряжений [6] и на ее основе, как альтернатива точному методу, – приближенный нормативный метод расчета сжато-изгибаемых элементов, использовался модуль упругости  $E$  и, как отмечено выше, это не мешало учесть упругопластическую работу древесины. Тогда же Ф. С. Ясинский предложил свой метод расчета, формализованный формулой

$$N / \varphi_3 A + M / W \leq [\sigma_c], \quad (2)$$

которую Н. С. Стрелецкий в [7] справедливо охарактеризовал неправильной и грубо условной. Коэффициент  $\varphi_3$  не имеет никакого отношения к физическому явлению при одновременном сжатии и изгибе элемента. Формализация этого физического явления в формуле (2) лишена как формальной логики, так и математической логики с ее составляющей семиотикой.

С позиции математической логики и семиотики, структуры формул проверки прочности древесины в сжато-изгибаемых элементах:

по НиТУ 122-55:

$$\frac{N}{m_c R_c F_{HT}} + \frac{M}{\xi m_u R_u W_{HT}} \leq 1; \quad (3)$$

по СНиП II-V.4-71:

$$\frac{N}{F_{HT}} + \frac{M}{\xi W_{расч} R_u} \leq R_c; \quad (4)$$

по СНиП II-25-80:

$$\frac{N}{F_{расч}} + \frac{M_D}{W_{расч}} \leq R_c; \quad (5)$$

соответствуют сути физического явления сложного сопротивления.

К формулам (3) и (4) не возникало претензий ни с физической позиции – в теории краевых напряжений были сформулированы определенные ограничения; ни с методологической позиции – пока коэффициент  $\varphi < 1$ ; ни с позиции философии техники – пока использовался модуль  $E$ .

Претензии возникли к формуле (5), в которой  $M_D = M / \xi$  находится по деформированной схеме элемента с вычислением коэффициента  $\xi$  по формуле

$$\xi = 1 - \frac{N_c}{N_\varepsilon}; \quad (6)$$

где  $N_c$  – расчетное усилие сжатия в сжато-изгибаемом элементе;  $N_\varepsilon$  – критическая сила в Эйлеровом стержне.

Очевидность несоответствия нормативного метода физическому явлению сложного сопротивления состоит в желании сохранить нормативный метод с вычислением коэффициента  $\varphi$  по формуле (1). А это требует сохранения константы  $A = \pi^2 E / R_{вр} \approx 3000$  при  $E / R_{вр} = 10^4 / 32 \approx 300$  и, соответственно,  $E = 300 R_{вр}$ . Отсюда появилось неубедительное доказательство в Пособии к СНиП того, что  $E^1 = 300 R_c$ . Физическая характеристика материала не может быть найдена «на кончике пера», она устанавливается исключительно экспериментальным путем.

**A posteriori** (лат., зависимый от опыта). Так делается в [4], когда расчет деревянных стержней на центральное сжатие с учетом пластических деформаций выполняется с применением приведенного модуля деформаций  $E_r$ , величина которого находится по экспериментальной зависимости « $\sigma - \varepsilon$ » между значениями касательного модуля  $E_r$  и начального модуля  $E$ . Не может быть возражений против физически существующих различных модулей для упругой и упругопластической стадий работы древесины. Но из этого не следует заключения: надо различать нормируемые значения модулей при расчете по предельным состояниям первой группы  $E^1$  и по предельным состояниям второй группы –  $E$  с учетом упругопластической стадии работы древесины. Повторимся, в [4]

речь идет только о центральном сжатии, и, вдруг, – результаты переносятся на расчет элементов на прочность по деформируемой схеме, имея в виду элементы сжато-изгибаемые. Нет обоснования правомочности переноса проблемы устойчивости центрально сжатого стержня на стержень сжато-изгибаемый.

С позиции физического явления сложного сопротивлению Эйлера сила  $N_{\Sigma}$  не имеет никакого отношения к вычислению коэффициента  $\xi$  по формуле (6) так же, как коэффициента  $\varphi$ , в формуле (1).

**Argumentum ad rem** (лат., аргумент, основанный на подлинных обстоятельствах). Деформационный расчет элементов (см. раздел 16 [8]) необходим при их большой гибкости, когда есть основание считать, что дополнительный изгибающий момент достигает заметной величины. Подобное основание было при расчете деревянных элементов (верхних поясов мелкопанельных ферм) с гибкостями в плоскости изгиба  $\lambda = 75 \div 110$ , когда по формуле (1) при  $A=3100$  коэффициент  $\varphi = 0,55 \div 0,256$  и коэффициент  $\xi$  оказывался намного меньше единицы, а, соответственно, возрастал расчетный изгибающий момент  $M_{\text{д}}$ .

Физическое явление сложного сопротивления изменилось в сжато-изгибаемых элементах из клееной древесины (верхние пояса крупнопанельных ферм) с гибкостями  $20 \leq 50$ . Эффект от учета деформированного состояния стал скромным, и это при серьезных претензиях к методу расчета с позиций физической, методологической и математической логики.

Остановимся на характеристике деформационного расчета в [8]. Пункт 16.1 начинается так: «Приведенные значения критических Эйлеровых нагрузок для реальных конструкций должны рассматриваться как верхние границы истинных предельных нагрузок. При расчете по деформированной схеме (деформационном расчете) они используются в формуле для приближенного определения перемещений». Далее дается  $N_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 EJ}{l^2}$

(от автора: модуль упругости  $E$ ). В п. 16.3.2 даются приближенные формулы для прогибов и изгибающих моментов сжато-изогнутых элементов (автор: в статье используется термин «элемент» вместо термина «балка» в [8] на основании того, что балка по определению – конструктивная форма, которая воспринимает только нагрузки, вызывающие поперечный изгиб, а изгиб и одновременно сжатие может быть в элементе). Эти формулы подобны формулам расчета сжато-изгибаемых элементов на прочность по деформируемой схеме в п. 4.11 Пособия к СНиП. В [8] жесткость элемента в плоскости изгиба  $EJ$  (от автора: здесь

модуль  $E$  так же, как и в формуле для  $N_{кр}$ ). Отмечается, что расчет распространяется на элементы с нагрузкой  $q = q_0 \sin \frac{\pi x_3}{\ell}$  здесь  $1/x_3 = N/N_3$ .

В п. 16.3.1 [8] говорится: эффект воздействия на сжато-изогнутый элемент нескольких нагрузок, создающих поперечный изгиб, можно получить как сумму эффектов воздействия каждой из этих нагрузок, взятых в отдельности, но обязательно в сочетании с продольным сжимающим усилием  $N$ .

В дополнение к сказанному приведем мнение из [9]: при продольно-поперечном изгибе принцип независимости действия сил не применим из-за нелинейной зависимости между прогибом и продольной силой. В [9] нет приближенного расчета сжато-изгибаемых элементов. Для пользователей приведены расчеты по методу начальных параметров для различных расчетных схем сжато-изгибаемых элементов.

В своих публикациях автор приводил аргументы не в пользу нормативного метода из разных первоисточников. Здесь нет места повторить их, но все же два из них хочется вспомнить коротко, так как они содержались в капитальных учебниках по деревянным конструкциям с интервалом между ними в 44 года. В [10], как недостаток нормативного метода, отмечается то, что он справедлив только при гибкости элементов  $\lambda > 75$ . В [11] оправданием нормативного приближенного метода является то, что он проще точного, основанного на интегрировании дифференциального уравнения изогнутой оси элемента. В 1986 г. такой аргумент выглядел наивно. Это не тридцатые годы прошлого столетия, когда выбор между приближенным методом расчета, основанном на теории краевых напряжений проф. К. С. Завриева, и более точным методом Свенцицкого Г. В. [12] по теории устойчивости был сделан в пользу первого. Нормативный метод дает завышенное по сравнению с точным методом значение изгибающего момента в деформированном состоянии сжато-изогнутого элемента. Это не могло не сказаться в пользу его выбора тогда, когда строительные конструкции рассчитывались по допускаемым напряжениям, и их надежность обеспечивалась единым коэффициентом запаса, получившего характеристику у специалистов, как коэффициент «незнания». Поводом отказаться от нормативного метода мог стать переход расчета строительных конструкций на метод предельных состояний, когда лишний запас противоречит самой природе предельного состояния.

**Argumentum baculinum** (лат., буквально: палочный аргумент). Нормативный метод удовлетворял требованиям инженерной практики и тогда, когда в расчетах сжато-изгибаемых элементов из клееной древесины с их

гибкостями в плоскости изгиба при  $20 \leq \lambda < 55$  появился коэффициент  $\varphi > 1$ , определяемый по формуле (1) для виртуального центрально сжатого стержня. Не надо было искать ненаучных обоснований этому противоприродному физическому факту. Напротив, стремление сохранить метод вызвало появление искусственного модуля упругости древесины  $E^1$ . Даже при этом метод продолжает удовлетворять инженерным расчетам. Объяснение такому «феномену» состоит в математической структуре формулы для коэффициента

$$\xi = 1 - \frac{N_c}{\varphi \cdot R_c \cdot A_{\sigma p}}, \quad (7)$$

в которой различие коэффициента  $\varphi$  в два-три раза нивелируется значением коэффициента  $\xi$ .

Математические формулы – это знаки специального языка, объединенные в структуру согласно законам семиотики и математической логики. Формула вторична по отношению к физическому явлению, которое она формализует. С нормативным методом расчета сжато-изгибаемых элементов произошло так, что первоначально формализованный язык вполне адекватно описывал физическое явление сложного сопротивления в элементах при их  $\lambda > 55$  и с модулем упругости  $E$ . Объективная реальность в виде нового типа сжато-изгибаемых элементов обусловила необходимость применения для их расчета иного метода. Он не новый (вспомним, например, упомянутый выше метод Г. В. Свенцицкого<sup>2</sup> или известный давно в сопротивлении материалов метод расчета через начальные параметры). Нормативный метод, как формализованный язык, перестал дедуктивно описывать содержательную, физическую и научную суть явления сложного сопротивления в новых сжато-изгибаемых элементах. Сохранение этого метода в науке о расчете строительных конструкций граничит с иррационализмом. Формула (7) перестала содержать функциональную зависимость между физическим явлением в новых элементах, и только ее математическая структура не может оправдывать ее присутствие в нормативном документе. В ней отсутствует причинная связь между математическими величинами ее составляющими и физическим состоянием материального объекта сжато-изгибаемого элемента из клееной древесины.

---

<sup>2</sup> Примерно в то же время для расчета металлических сжато-изгибаемых стержней был разработан метод, так же основанный на теории устойчивости, который применяется до сих пор.

**Argumentum ad hominem** (лат., доказательство, рассчитанное на чувства убеждаемого). Уже много лет автор встречается в своей профессиональной практике с недоумением студентов (такое еще случается), когда знакомит их с нормативным методом расчета сжато-изгибаемых деревянных элементов. Естественно, что недоумение вызывал факт превышения коэффициентом продольного изгиба единицы. Приходилось интерпретировать  $\varphi$  как некий параметр, учитывающий устойчивость стержня за пределами диаграммы « $\lambda - \varphi$ ». При невозможности, при действующих нормах проектирования деревянных конструкций, отказаться от нормативного метода расчета сжато-изгибаемых элементов автор предпринял попытку устранения методологического диссонанса в нормативном расчете [13]. Предложено в формуле (7) использовать вместо коэффициент  $\varphi$  параметр  $\varphi_D = \varphi(1 + B/\lambda)$ , в котором  $B$  учитывает различие  $\varphi$  на участке ЦНИИПС и на гиперболе Эйлера при  $\lambda \leq 55$ . Однако, это не устранило неадекватность метода физическому явлению.

Не существующую в природе физическую характеристику  $E^1$  в сжато-изгибаемом элементе невозможно обосновать, ее надо отменить, а вместе с ней и нормативный метод. Не говоря уже о техническом абсурде  $E^1$ . Между двумя величинами  $E/R_b=300$  и  $E^1/R_c=300$  не существует математической пропорции.

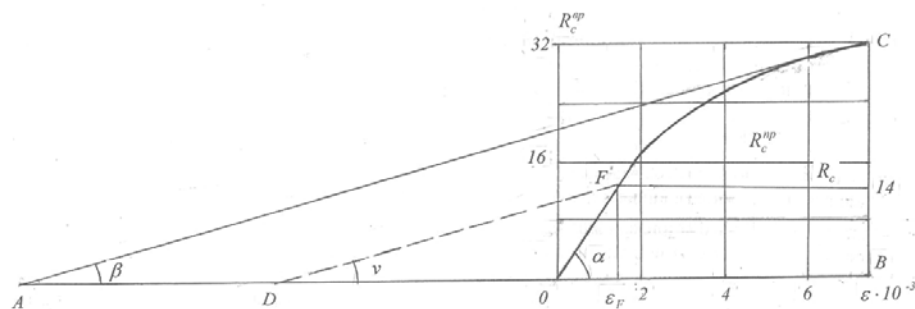


Рис. 1. Характерная зависимость « $R_c - \varepsilon$ »

Обратимся к машинному испытанию деревянного образца на сжатие вдоль волокон. На рис. 1 показана характерная зависимость « $R_c - \varepsilon$ ». До условного предела пропорциональности, равного  $0,5 R_c^{gp}$ , диаграмма сжатия может быть принята прямолинейной. На этом участке диаграммы устанавливается модуль упругости древесины  $E$  как  $tq \alpha$ . При  $R_c > 0,5 R_c^{gp}$  тангенс угла наклона касательной к диаграмме в точке  $R_c^{gp}$  к горизон-



тальной оси координат  $tq \beta = R_c^{sp} / AB$ . Угол наклона касательной в точке  $R_c = 14$  МПа совпадают с углом  $\alpha$ . Если, согласно решению в Пособии к СНиП II-25-80 относительно доказательства  $E^I$  из точки диаграммы с  $R_c = 14$  МПа провести линию, параллельную линии  $AC$ , то получим абсурд в виде линии  $DE$ , которая не имеет никакого физического смысла. Тут уместно вспомнить, что напряжения и расчетные сопротивления – это абстракции, а реальными есть деформации. Поэтому подсчет модуля по  $E^I = 300 R_c$  не содержит физического смысла. Для точки  $F$  на диаграмме реальные деформации составляют  $O-\varepsilon_F$ , но не отрезок  $D-\varepsilon_F$ ,  $tqv = R_c / D\varepsilon_F$  – только геометрический тангенс угла без всякого физического смысла. Число 300 в формуле для  $E^I$  – случайная величина.

Удивительная живучесть нормативного метода расчета сжато-изгибаемых элементов не понятна. Даже сейчас, когда деформационный расчет содержит в себе «дуализм» в виде двух модулей упругости с позиции физической и с позиции философии техники. Деформационный расчет в трактовке СНиП II-25-80 предполагает расчет по прочности с использованием модуля упругости древесины  $E^I$  и по деформациям с использованием  $E$ . Деформационный расчет расчленен на два составляющих для удобства инженерных расчетов по прочности и жесткости, в то время как деформационное состояние элемента физически одно. Одновременно оказывается, что в материале сжато-изгибаемого элемента при расчете по прочности – модуль  $E^I$ , а при расчете по жесткости – модуль  $E$ . Это не укладывается в сознании и объяснения такому «дуалистическому» их физическому явлению быть не может. Это не воспринимается сознанием автора, профессора по кафедре деревянных конструкций. Какими методологическими ухищрениями довести такое до понимания студентами? И это одновременно с коэффициентом  $\varphi > 1$  по формуле (1) для виртуального стержня, физически не существующего в технике. Такой философии техники и таких расчетов технических систем в нормативном документе не должно быть. Если деформационный изгибающий момент находится из условия, что модуль упругости древесины  $E^I$ , то деформированное состояние элемента вызвано этим же модулем. Как корреспондирует с этим расчет по жесткости с модулем упругости  $E$ ? Прогибы элемента в деформированном состоянии при прочностном расчете более чем вдвое превышают прогибы при проверке по второму предельному состоянию, выполнение которой становится бессмыслицей. Резко! Но так видится автору результат использования искусственного модуля упругостей  $E^I = 300 R_c$  в угоду сохранению нормативного метода расчета сжато-изгибаемых элементов. Получается, что этот прием не сохраняет метод, а уничтожает его. Он давно этого

заслуживает: с того момента, как коэффициент продольного изгиба  $\varphi > 1$ , вместо того, чтобы искать ненаучные объяснения подобному противоестественному факту.

**Quod erat demonstrandum** (лат., что и требовалось доказать). Точный расчет сжато-изгибаемого элемента. В расчете используется решение основного дифференциального уравнения упругой линии:

$$EJ \frac{d^2 y}{dx^2} = M_x \quad (8)$$

в виде универсального уравнения, которое, выраженное через начальные параметры, имеет вид:

$$y = y_0 + \Theta_0 x + \frac{M_0 x^2}{2EJ} + \frac{Qx^3}{5EJ} + f(x), \quad (9)$$

где начальные параметры  $y_0$ ,  $Q_0$ ,  $M_0$ ,  $\Theta_0$  – прогиб, угол поворота, изгибающий момент, поперечная сила в начале координат.

Уравнение (9) может быть записано так:

$$y = y_0 + y_0^1 ux + y_0^{11} (1 - \cos ux) + y_0^{111} (ux - \sin x) + f(x), \quad (10)$$

где  $y_0$ ,  $y_0^1$ ,  $y_0^{11}$ ,  $y_0^{111}$  – начальные параметры: прогиб и его производные в начале координат.

Конечно, решение технически сложное по сравнению с нормативным расчетом. В настоящее время эти сложности устраняются применением ПК. К тому же для многих наиболее часто встречающихся расчетных схем сжато-изгибаемых элементов в расчетно-теоретических справочниках даются готовые решения.

В Пособии к СНиП признается ограниченность применения нормативного метода расчета сжато-изгибаемых деревянных элементов – только для шарнирно закрепленного по концам элемента при симметричной нагрузке, близкой к синусоидальной (это одна из предпосылок теории краевых напряжений). Но он продолжает применяться даже при несимметричной схеме нагружения, раскладывая ее на симметричную и кососимметричную, полагая, что возникающая при этом погрешность расчета незначительна. Помимо этого, в решении применяется принцип суперпозиции вопреки тому, что сказано по этому поводу выше. Надо ли это делать, если в Пособии даны примеры расчета сжато-изгибаемых элементов: в п. 4.14 элемента, заделанного одним или обоими концами, и элемента, шарнирно закрепленного на опорах, нагруженного продольной сжимающей силой, линейно-распределенной нагрузкой, сосредоточенными

поперечними силами и опорными моментами – очень сложные расчетные схемы. Используются готовые решения, которые содержатся в расчетно-теоретических справочниках, в том числе, и в упомянутых выше [8, 9], с использованием функций параметра сжимающих усилий  $u = \sqrt{N/(EJ)}$ . В наличии параметра  $u$  состоит принципиальное отличие точного метода расчета, основанного на методе начальных параметров, от приближенного нормативного. В параметре  $u$  усилие  $N$  связано с изгибной жесткостью элемента при модуле  $E$ , а не с  $N_{кр}$ , как в теории краевых напряжений (см. формулу (6)), а в редакции СНиП II-25-80 еще и с определением Эйлеровой силы для виртуального стержня при модуле  $E^I$ . Природы физических явлений устойчивости в Эйлеровом стержне и в сжато-изгибаемом элементе совершенно разные.

### Литература

- [1] Кліменко В. З. Проектування дерев'яних конструкцій : навч. посібник / В. З. Кліменко. – К. : ІЗМН, 1998. – 432 с.
- [2] Кліменко В. З. Конструкції з дерева і пластмас : підручник / В. З. Кліменко – К. : Вища школа, 2000. – 304 с. : іл.
- [3] Клименко В. З. Расчет деревянных конструкций по деформациям и на прочность по деформированной схеме / В. З. Клименко // Строительная механика и расчет сооружений / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – 2012. – № 6. – С. 69–73.
- [4] Пятикрестовский К. П. К вопросу о выборе модулей упругости при расчете деревянных конструкций на прочность, устойчивость и по деформациям / К. П. Пятикрестовский // Строительная механика и расчет сооружений. – 2012. – № 6. – С. 73–79.
- [5] Клименко В. З. Поиск истины в модулях упругостей древесины  $E$  и  $E^I$  при расчете сжато-изгибаемых элементов / В. З. Клименко, Д. В. Михайловский, М. С. Коваленко // Современные строительные конструкции из металла и древесины : сб. научн. тр. – Одеса : ОГАСА. – 2012. – С. 115–123.
- [6] Завриев К. С. Расчет стержней на одновременные действия изгиба и осевого сжатия / К. С. Завриев. – Тифлис : Гос. изд-во Грузии, 1932. – 215 с.
- [7] Курс металлических конструкций. Ч.1–3. : учеб. для строит. ВУЗов / Н. С. Стрелецкий. – М. ; Л. : Госстройиздат, 1940–1944. – Ч. 1. : Основы металлических конструкций. – 1940. – 844 с.
- [8] Уманский А. А. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Расчетно-теоретический / [под редакцией А. А. Уманского]. – М. : ГСИ, 1960. – 132 с.

- [9] Фесик С. П. Справочник по сопротивлению материалов / С. П. Фесик. – К. : Будівельник, 1982. – 281 с.
- [10] Карлсен Г. Г. Курс деревянных конструкций : учебник для строительных вузов и факультетов. Часть 1 / [Г. Г. Карлсен и др.] ; под общ. ред. Карлсена Г. Г. – Л. : ГСИ, 1942. – 540 с.
- [11] Слицкоухов Ю. В. Конструкции из дерева и пластмасс : учебник для студентов вузов / [Ю. В. Слицкоухов и др.] ; ред. Ю. В. Слицкоухова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1986. – 543 с. : ил.
- [12] Свенцицкий Г. В. Устойчивость внецентренно сжатых цельных деревянных стержней / Г. В. Свенцицкий. // Сб. УНИПС. – М., 1940.
- [13] Клименко В. З. Устранение методологического диссонанса в расчете деревянных элементов, работающих на изгиб со сжатием / В. З. Клименко // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2010. – № 2. – С. 41–44.

*Надійшла до редколегії 20.02.2013 р.*