ДЕРЕВЯННАЯ БАЛКА, УСИЛЕННАЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫМИ СТЕРЖНЯМИ

Мурадова Фатима Одиссеевна

студент, Тюменский Индустриальный Университет, РФ, г. Тюмень

WOODEN BEAM REINFORCED WITH FIBERGLASS RODS

Fatima Muradova

Student, Tyumen Industrial University, Russia, Tyumen

Аннотация. Рассмотрен вопрос исследования армирования деревянных конструкции стеклопластиковыми стержнями: приведен инженерный метод расчета армированных деревянных конструкции и численный метод расчета в программном комплексе Ansys Workbench.

Abstract. The study of the reinforcement of wooden structures with fiberglass rods is considered: an engineering method for calculating reinforced wooden structures and a numerical calculation method in the Ansys Workbench software package are presented.

Ключевые слова: деревянная балка, арматура, армированная балка, расчет, Ansys.

Keywords: wooden beam, reinforcement, reinforced beam, calculation, Ansys.

В рамках исследования вопроса эффективного использования стеклопластика при усилении изгибаемых деревянных элементов анализу подверглись формулы для определения прочностных и деформативных характеристик деревянных конструкции, армированных стеклопластиковыми стрежнями.

Было рассмотрено два случая армирования элемента: симметричное и одиночное армирование растянутой зоны, исследуемый модель принят размерами 100х150х6000 мм:

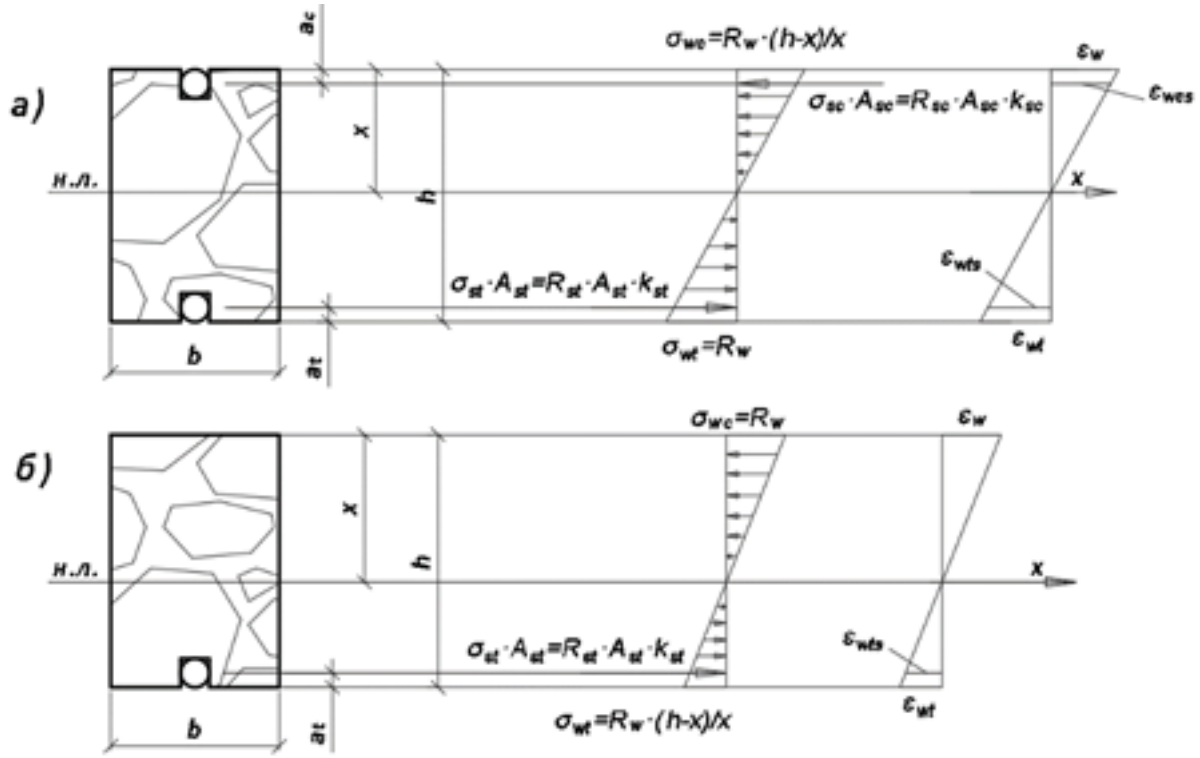


Рисунок 1. Расчетные эпюры нормальных напряжений при изгибе: а – при симметричном армировании; б – при одиночном

Алгоритм расчета нормальных сечений армированных деревянных балок приведен ниже.

Запишем уравнение равновесия внутренних усилий в поперечном сечении балки на горизонтальную ось x:

а) симметричное армирование;

$$\frac{1}{2} * \sigma_{wc} * b * x + \sigma_{sc} * A_{sc} = \frac{1}{2}\sigma_{wt} * b * (h - x) + \sigma_{st} * A_{st}$$

б) одиночное армирование растянутой зоны;

$$\frac{1}{2} * \sigma_{wc} * b * x = \frac{1}{2}\sigma_{wt} * b * (h - x) + \sigma_{st} * A_{st}$$

где b – ширина поперечного сечения балки, см;

x – высота сжатой зоны древесины, см;

h - высота поперечного сечения деревянной балки, см;

σ_{wc} и σ_{wt} – напряжения в крайних сжатых и крайних растянутых волокнах древесины, кг/$см^2$;

σ_{sc} и σ_{st} – напряжения в сжатой и в растянутой арматуре, кг/$см^2$.

Выразим высоту сжатой зоны древесины x для симметричного армирования:

а) при симметричном армировании:

$$x = \frac{0{,}5 * b * h^2 * E_w + A_{sc} * E_{sc} * (h - a_c) + A_{st} * a_t * E_{st}}{b * h * E_w + A_{st} * E_{st} + A_{sc} * E_{sc}}$$

где a_c и a_t - расстояние от центральной оси стержня сжатой и растянутой арматуры до кромки растянутой зоны деревянной балки, см;

A_{sc} и A_{st} – площадь поперечного сечения сжатой и растянутой арматуры, $см^2$.

б) при одиночном:

$$x = \frac{0{,}5 * b * h^2 * E_w + A_{st} * E_{st} * (h - a_t)}{b * h * E_w + A_{st} * E_{st}}$$

где E_w - модуль упругости древесины, кг/$см^2$;

E_{sc} и E_{st} - модуль упругости арматуры, кг/$см^2$.

Максимальные напряжения в сжатой зоне:

$$\sigma_{wc} = R_w * \frac{x}{(h - x)}$$

Коэффициент использования несущей способности растянутой арматуры:

$$k_{st} = \frac{R_w * (h - x - a_t) * E_{st}}{E_w * (h - x) * R_{st}}$$

Коэффициент использования несущей способности для сжатой арматуры:

$$k_{sc} = \frac{R_w * (x - a_c) * E_{sc}}{E_w * (h - x) * R_{sc}}$$

Значения продольного усилия, возникающего в растянутом стержне арматуры:

$$N_{st} = R_s * A_{st} * k_{st}$$

где R_s и R_w – расчетное сопротивление арматуры и древесины изгибу, кг/$см^2$.

Значение продольного усилия, возникающего в сжатом стержне арматуры:

$$N_{sc} = R_s * A_{sc} * k_{sc}$$

Определяем значение несущей способности балки (изгибающий момент):

а) при симметричном армировании:

$$M = R_{sc} * A_{sc} * k_{sc} * (x - a_c) + R_{st} * A_{st} * K_{st} * (h - x - a_t) + \frac{b * (\sigma_{wc} * x^2 + \sigma_{wt} * (h - x)^2)}{3}$$

б) при одиночном:

$$M = R_{st} * A_{st} * k_{st} * (h - x - a_t) + \frac{b * (\sigma_{wc} * x^2 + \sigma_{wt} * (h - x)^2)}{3}$$

Прогиб балки:

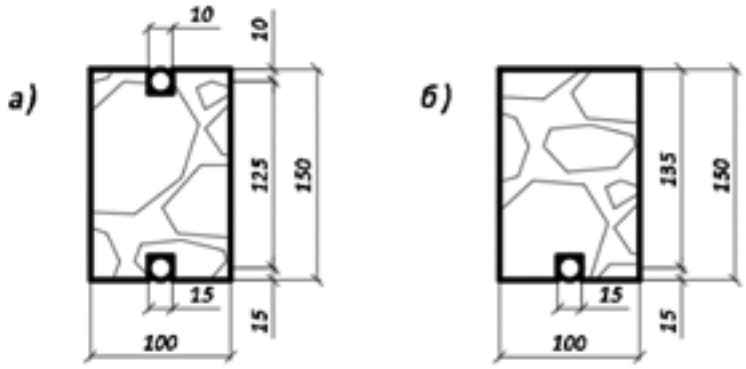
$$f = \frac{f_0}{k}\left[1 + c(\frac{h}{l})^2\right]$$

где k =1 - коэффициент, учитывающий влияние переменности высоты сечения; c - коэффициент, учитывающий влияние деформаций сдвига от поперечной силы и определяемый по таблице Е.3 приложения Е [1].

Численные исследования деревянных конструкций, усиленных полимерными композитами

Численные исследования в настоящей работе выполнены в универсальном программном комплексе (ПК) «ANSYS», сертифицированном по известным отечественным и международным стандартам (ISO 9001, ISO 9002, ISO 9003 NAFEMS QA Certification, Госатомнадзор России и многие другие), а также верифицированном согласно требованиям РААСН [2].

Для исследования были смоделированы балки размерами 100х150х6000 мм загруженные сосредоточенными нагрузками в третях пролета. Варианты расположения стеклопластиковой арматуры в сечении конструкции приведены на рисунке 2.



а – одинарное симметричное; б – одинарное несимметричное

Рисунок 2. Варианты усиления конструкции стеклопластиковой арматурой

Схема приложения нагрузки приведена на рисунке 3.

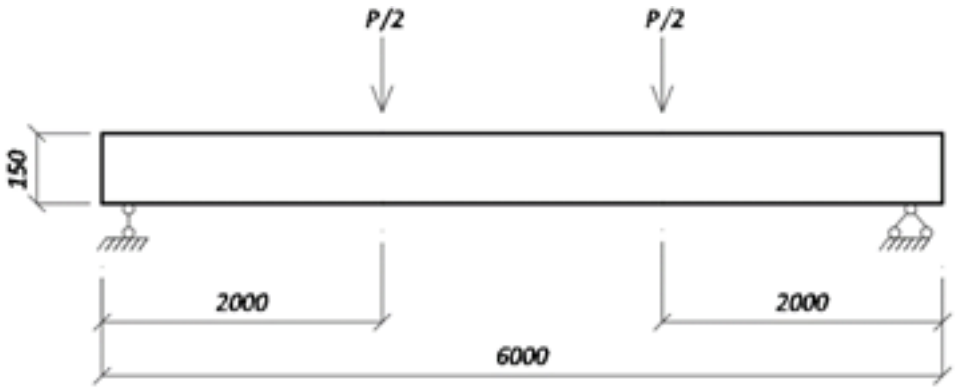


Рисунок 3. Схема приложения нагрузки на балку

Расчет экспериментального образца БА-1

Исходные данные: исследуемый модель принят размерами 100х150х6000 мм, расчетное сопротивление древесины на изгиб 14 МПа; модуль упругости древесины 10 ГПа; диаметр сжатой арматуры 10 мм; диаметр растянутой арматуры 15 мм; расчетное сопротивление сжатой арматуры 240 МПа; расчетное сопротивление растянутой арматуры 240 МПа; модуль упругости сжатой арматуры 45 Гпа; модуль упругости растянутой арматуры 45 Гпа.

В табл. 1 представлено сопоставление результатов, полученных согласно разработанному методу расчета армированной деревянной балки с симметричным армированием и при численном моделировании в ПК Ansys.

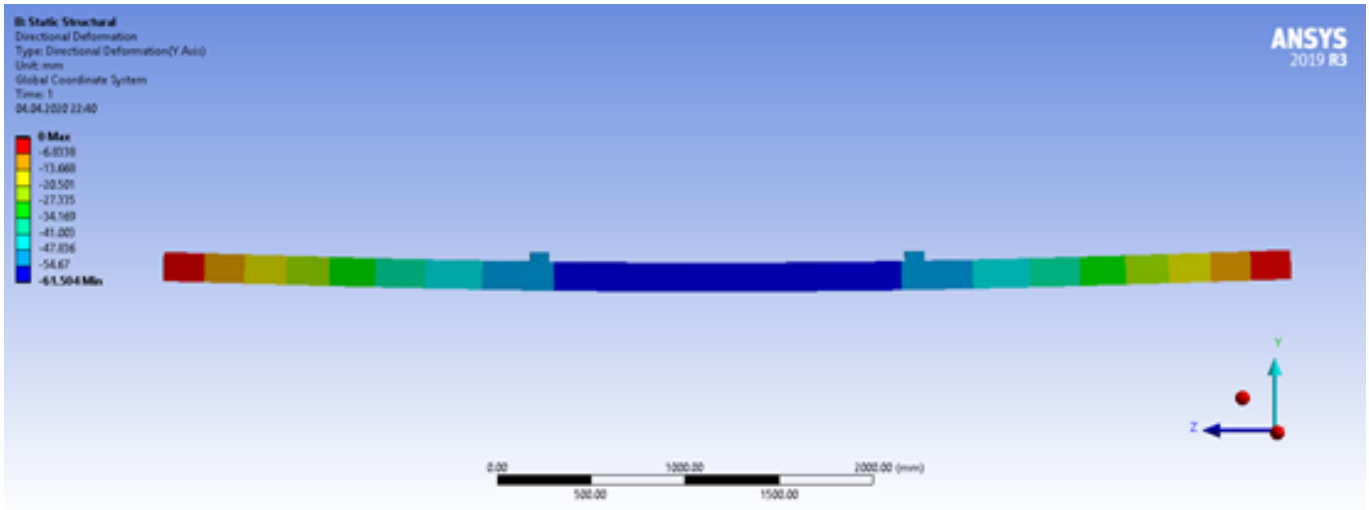


Рисунок 4. Общие деформации балки БА-1

Таблица 1.

Сравнение расчетных параметров численного моделирования и инженерного

расчета

Расчетная характеристика	Инженерный расчет	Моделирование в ПК Ansys WB	Откл
Напряжения в крайних растянутых волокнах древесины, МПа	14,00	14,00	
Напряжения в крайних сжатых волокнах древесины, МПа	13,27	12,4	
Напряжения в растянутой арматуре, МПа	55,2	53,026	
Напряжения в сжатой арматуре, МПа	57,6	55,51	
Усилие в растянутой арматуре, кН	10,20	8,10	
Усилие в сжатой арматуре, кН	4,40	3,90	
Положение нейтральной (нулевой) линии, мм	73,00	71,875	
Прогиб в середине пролета, мм	71,0	61,5	

Расчет экспериментального образца БА-2

Исследуемые модели приняты размерами 100х150х6000 мм для возможности проведения экспериментальных исследований на аналогичных конструкциях и сравнения полученных результатов, расчетное сопротивление древесины на изгиб 14 МПа; модуль упругости древесины 10 ГПа; диаметр растянутой арматуры 15 мм; расчетное сопротивление растянутой арматуры 240 МПа; модуль упругости растянутой арматуры 45 Гпа.

В табл. 2 представлено сопоставление результатов, полученных согласно разработанному методу расчета армированной деревянной балки с одиночным армированием и при численном моделировании в ПК Ansys.

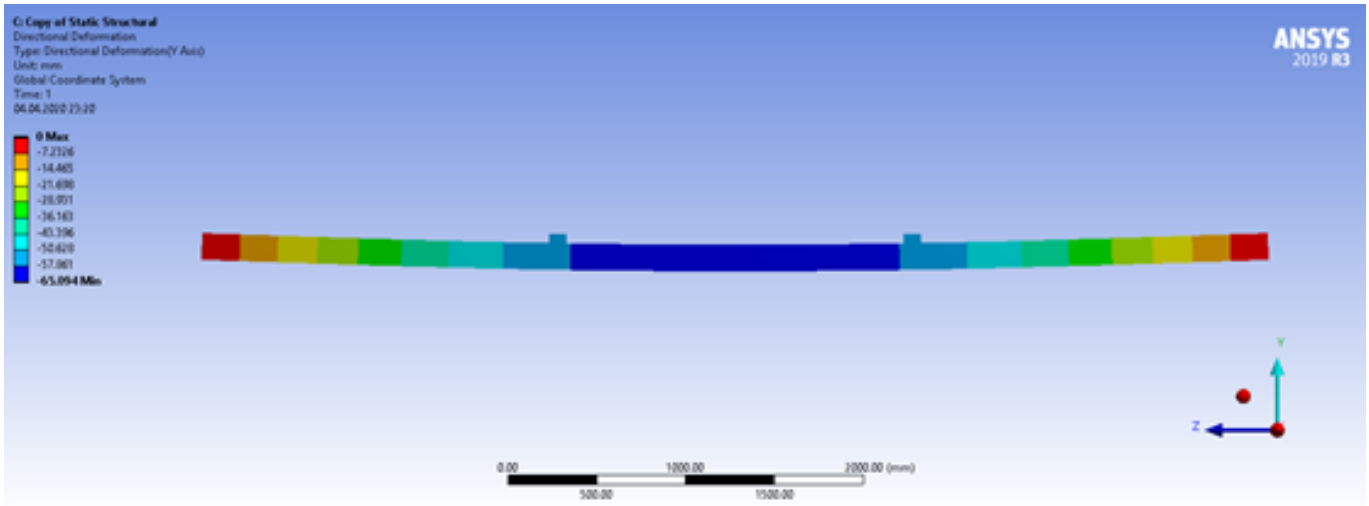


Рисунок 5. Общие деформации балки БА-2

Таблица 2.

Сравнение расчетных параметров численного моделирования и инженерного расчета

Расчетная характеристика	Инженерный расчет	Моделирование в ПК Ansys WB	Откл
Напряжения в крайних растянутых	14,00	14,00	

волокнах древесины, МПа			
Напряжения в крайних сжатых волокнах древесины, МПа	12,60	12,26	
Напряжения в растянутой арматуре, МПа	57,6	54,92	
Усилие в растянутой арматуре, кН	10,20	8,40	
Положение нейтральной (нулевой) линии, мм	71,20	71,88	
Прогиб в середине пролета, мм	70,0	65,09	

Заключение:

- разработанный инженерный метод расчета прочности нормальных сечений армированных деревянных балок имеет хорошую сходимость с результатами численного моделирования в ПК Ansys;

- эффективность усиления зависит от модуля упругости армирующего материала и процента армирования;

- задачами дальнейших исследований является проведение лабораторных испытаний армированных деревянных балок с различными схемами продольного армирования с целью изучения НДС и характера разрушения конструкций.

Список литературы:

1. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. – М.,2011;

2. Верификационный отчет по программному комплексу ANSYS Mechanical (4 тома). – М.: ЗАО НИЦ «СтаДиО», ГОУ ВПО МГСУ, 2009 г.