(cc) BY

Кожевникова Мария Сергеевна
магистрант
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова»
г. Барнаул, Алтайский край

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КЛЕЕФАНЕРНОЙ РЕБРИСТОЙ ПЛИТЫ

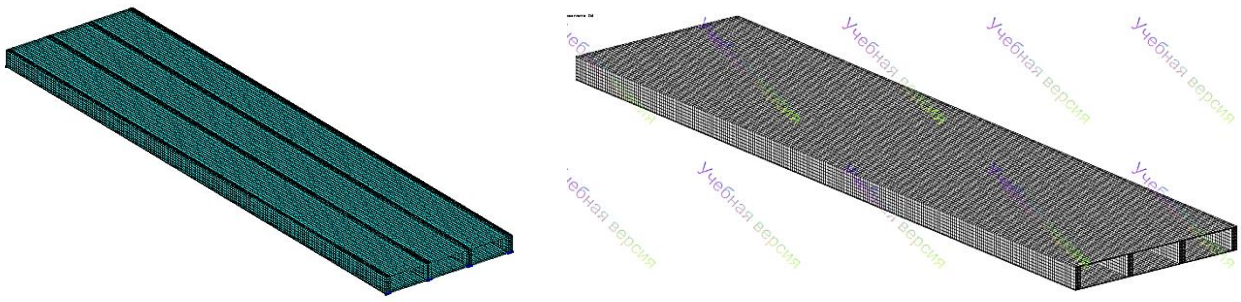
***Аннотация**: в работе оценено влияние анизотропии упругих характеристик древесины и фанеры на напряженно-деформированное состояние элементов клеефанерной ребристой плиты на базе программного комплекса LIRA-САПР.*

***Ключевые слова**: анизотропия, древесина, фанера, клеефанерная панель.*

В практике известно применение клеефанерных ребристых плит, используемых в качестве несущих конструкций покрытия и стеновых панелей, совмещающих в себе также ограждающие функции. Такие плиты состоят из наружных фанерных обшивок и деревянных (дощатоклееных) ребер. В промежутках между обшивками и ребрами устраивают эффективный утеплитель [2, с. 38]. Помимо известного метода приведенного сечения для расчета таких комплексных конструкций, представляется возможным использование современных программных средств на базе метода конечных элементов. Это может быть вызвано необходимостью детального исследования и анализа напряженно-деформированного состояния конструкции. В данной статье для моделирования работы клеефанерной ребристой панели был использован программный комплекс LIRA-САПР.

На рис.1 представлена объемная расчетная модель клеефанерной ребристой плиты размером 1500 х 6000 мм со следующими параметрами: 9 мм и 7 мм – толщина, соответственно, верхней и нижней фанерных обшивок; четыре продольных деревянных ребра сечением 50х170 мм; схема работы – балочная; 1,8 кН/м^2 – полезная нагрузка на верхнюю обшивку плиты.

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)



а) б)

Рис. 1. Конечно-элементная (а) и пространственная 3D (б) расчетная модель клеефанерной ребристой плиты

Для моделирования фанерных обшивок были использованы универсальные четырехугольные пластинчатые конечные элементы оболочки (КЭ №44), а для деревянных ребер, – универсальные пространственные восьмиузловыеизопараметрические конечные элементы (КЭ №36).

В исходной расчетной модели конечным элементам фанерных обшивок и деревянных ребер были назначены жесткостные характеристики изотропного упругого материала, в соответствии с СП [3]:

– модуль упругости и коэффициент Пуассона для фанерных обшивок:

$$E = 9000 МПа;\ \nu = 0{,}085;$$

– модуль упругости и коэффициент Пуассона для деревянных ребер:

$$E = 10000 МПа;\ \nu = 0{,}45.$$

Клеевое соединение деревянных ребер и фанерных обшивок моделировалось с помощью процедуры объединения перемещений соответствующих узлов пластинчатых конечных элементов оболочки и пространственных конечных элементов (рис. 2).

На опорные узлы расчетной модели плиты были назначены связи, соответствующие работе свободно опираемого балочного элемента. На конечные элементы верхней фанерной обшивки была задана полезная нагрузка 1,8 кН/м^2.

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

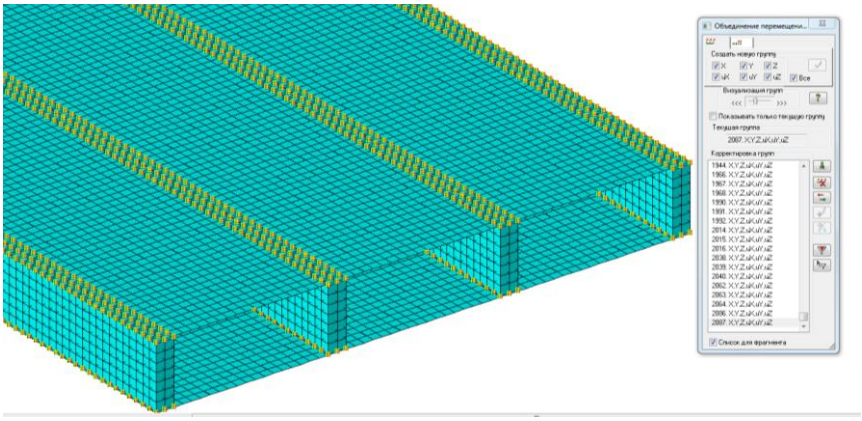
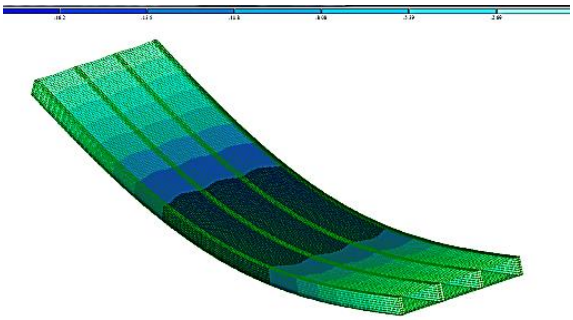
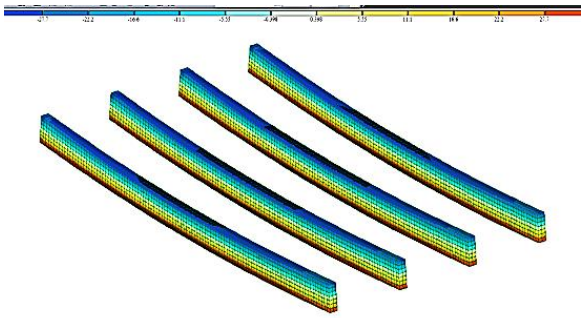


Рис. 2. Моделирование клеевого соединения деревянных ребер и фанерных обшивок (процедура объединения перемещений соответствующих узлов)

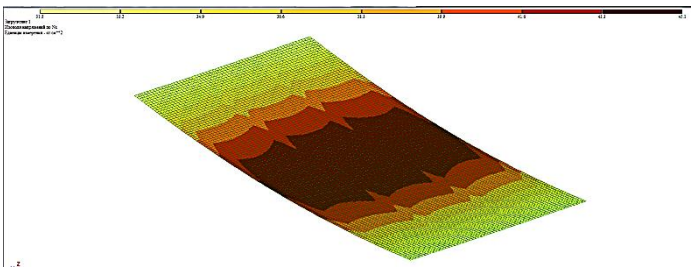
На рис. 3 представлены: деформированная схема плиты, изополя максимальных нормальных напряжений в ребрах и нижней растянутой фанерной обшивке.



а)



б)



в)

Рис. 3. Деформированная схема плиты (а) (прогиб 21,6 мм), изополя нормальных напряжений в ребрах вдоль волокон древесины (б) (N_z^{max}=44,4кг/см^2), изополя нормальных напряжений в нижней обшивке (в) (N_x^{max}=45,1кг/см^2)

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

Для расчетной модели был также выполнен расчет на устойчивость. На рис. 4 представлена одна из форм потери местной устойчивости верхней сжатой фанерной обшивки. Коэффициент запаса устойчивости составил 5,3.

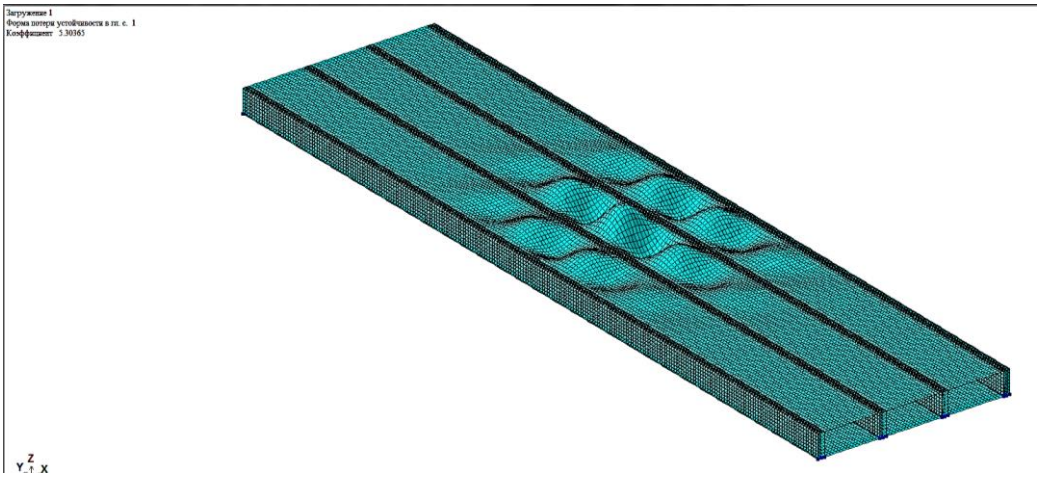


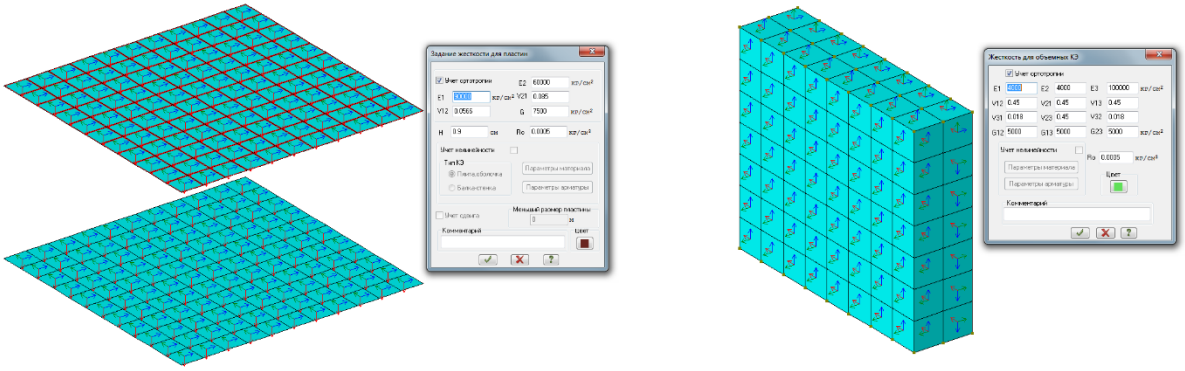
Рис. 4. Одна из форм потери устойчивости верхней сжатой фанерной обшивки

Следующим этапом работы был расчет анизотропной модели клеефанерной ребристой плиты. В соответствии со СП [3], ориентируясь на местные оси конечных элементов, были заданы следующие жесткостные характеристики (рис. 5):

– для фанерных обшивок, как для ортотропного упругого тела: $E_1 = 9000 МПа$; $E_2 = 6000 МПа$; $G_{12} = 750 МПа$; $\nu_{12} = 0{,}0566$; $\nu_{21} = 0{,}085$ (коэффициент Пуассона $\nu_{12} = 0{,}0566$ был задан из условия симметрии упругих свойств и матрицы жесткости $E_1 \cdot \nu_{12} = E_2 \cdot \nu_{21}$ [1, с. 50]);

– для деревянных ребер, как для трансверсально-изотропного тела, с одинаковыми свойствами в радиальном и тангенциальном направлении поперечного сечения: $E_1 = E_2 = 400 МПа$; $E_3 = 10000 МПа$; $G_{12} = G_{13} = G_{23} = 500 МПа$; $\nu_{12} = \nu_{21} = \nu_{13} = \nu_{23} = 0{,}45$; $\nu_{31} = \nu_{32} = 0{,}018$ (коэффициенты Пуассона $\nu_{12} = \nu_{21} = 0{,}45$ – были приняты по результатам экспериментальных исследований, представленных в [1, с. 85]).

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)



а) б)

Рис. 5 Задание анизотропных жесткостных характеристик фанерным обшивкам (а) и деревянным ребрам (б)

По результатам расчета анизотропной модели клеефанерной ребристой плиты было отмечено изменение напряженно-деформированного состояния. В частности, деформации плиты увеличились на 9% (прогиб плиты составил 23,8 мм) и несколько повысились нормальные напряжения в деревянных ребрах и фанерных обшивках (на 2 – 4%). Что касается местной устойчивости верхней сжатой фанерной обшивки, то она снизилась в 1,7 раза (коэффициент запаса составил 3,1).

Вообще, обеспечение местной устойчивости сжатых обшивок таких плит часто вынуждает проектировщика увеличивать толщину фанеры по сравнению, например, с растянутыми нижними обшивками. Такое увеличение материалоемкости, именно по фанере (зачастую, водостойкой), может способствовать повышению цены строительной конструкции. Альтернативой утолщенной сжатой фанерной обшивки может быть конструктивное решение с подкрепляющими деревянными ребрами жесткости, устраиваемыми в наиболее напряженных зонах плиты. На рис. 6 представлен фрагмент расчетной модели плиты такого решения с деревянными ребрами жесткости (сечением 50х50 мм) и одна из форм потери местной устойчивости. Деревянные ребра жесткости моделировались стержневыми конечными элементами. Клеевое соединение ребер и фанерной обшивки также моделировалось объединением перемещений соответствующих узлов.

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

При таком решении местная устойчивость сжатой фанерной обшивки повысилась в 3,5 раза (рис. 7).

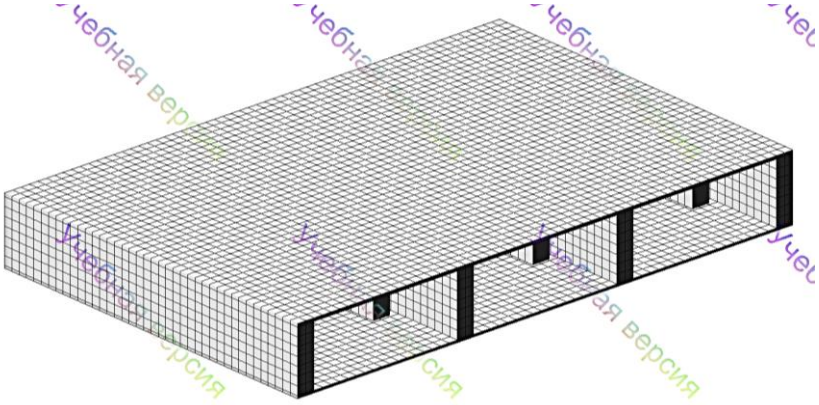


Рис. 6. Фрагмент анизотропной расчетной модели
с подкрепляющими ребрами жесткости

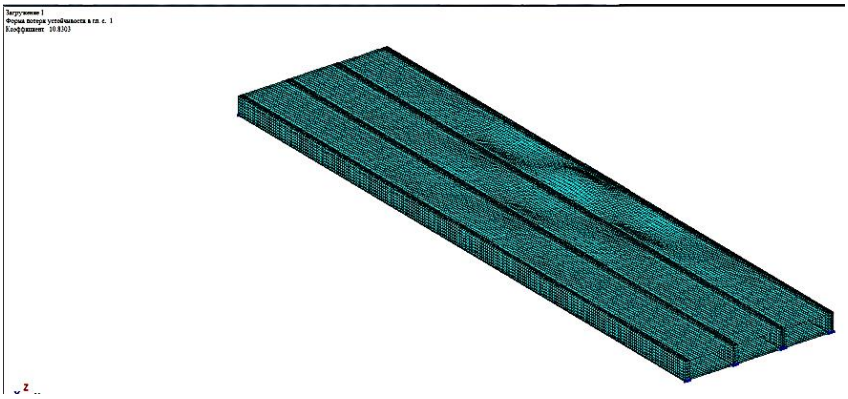


Рис. 7. Одна из форм потери местной устойчивости сжатой обшивки

Представленные в статье результаты численных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Анизотропия свойств древесины ухудшает напряженно-деформированное состояние конструкций, что свидетельствует о необходимости ее учета, как в проектных расчетах, так и при решении соответствующих научно-исследовательских задач.

2. Эффективным конструктивным решением по повышению местной устойчивости сжатой фанерной обшивки плиты является использование подкрепляющих ребер жесткости, что также способствует снижению материалоемкости.

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

Кроме того, нет необходимости в устройстве фанерной обшивки по всему пролету плиты. Например, в приопорных зонах (где нормальные напряжения наименьшие) вместо фанеры можно использовать деревоплиту.

Список литературы

1. Ашкенази Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 224 с.

2. Гапоев М.М. Конструкции из дерева и пластмасс: Учебник / М.М. Гапоев, И.М. Гуськов, Л.К. Ермоленко [и др.]. – М.: АСВ, 2004. – 440 с.

3. СП 64.13330.2011. Свод правил. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25–80. – М., 2011.

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)