

**К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-  
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
СОСТАВНОЙ ДЕРЕВОПЛИТЫ НА РАСТЯНУТЫХ  
СВЯЗЯХ**

**ON THE DETERMINATION OF STRESS-STRAIN STATE OF  
BUILT-UP TIMBER DECK WITH PRE-TENSIONED  
CONNECTIONS**

*Коваль П. С. (Санкт-петербургский государственный архитектурно-строительный университет)*

*Koval' P. S. (Saint-Petersburg state university of architecture and civil engineering)*

**Аннотация**

Предложена модель составной деревоплиты на растянутых связях как ортотропной плиты, нагруженной сосредоточенными силами на боковых гранях. Напряжения в плите, возникающие от действия сосредоточенных сил определены методами теории упругости анизотропного тела. Методом тензометрии экспериментально определено напряженно-деформированное состояние составной деревоплиты. Произведено сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований.

**Ключевые слова:** деревоплита на растянутых связях, обжатая деревоплита, напряженно-деформированное состояние.

**Summary**

The model of a built-up timber deck with pre-tensioned connections is proposed as orthotropic plate loaded with forces on the edges. The stresses in the plate, resulting from the action of forces determined using the theory of elasticity of an anisotropic body. Stress-strain state of the built-up timber deck experimentally determined using the strain measurement method. Theoretical and experimental studies are compared.

**Key words:** built-up timber deck with pre-tensioned connections, stress-laminated timber deck, stress-strain state.

При проектировании строительных конструкций из дерева традиционно принято не учитывать силы фрикционного взаимодействия между деревянными элементами, ввиду того, что при сезонных колебаниях влажности атмосферного воздуха, древесина имеет свойство подвергаться разбуханию и усушке. В связи с этим, сложно обеспечить постоянство по величине сил трения между соединяемыми элементами. Однако в некоторых случаях

представляется целесообразным применение таких конструкций, в которых деревянные элементы соединены при помощи металлических или полимерных стержней, затянутых с определенным усилием и создающих силы трения на поверхностях соединяемых элементов. В этом случае они образуют составную деревянную плиту на растянутых связях или так называемую обжатую древесоплиту [4]. В зарубежной практике подобные конструкции широко распространены в качестве мостовых пролетных строений (Stress-Laminated Timber Decks или SLTD) и применяются с 1979 года (впервые – в Канаде). Такие мосты аналогичны по форме мостам с пролетными строениями в виде клееной или гвоздевой продольной древесоплиты. Однако в обжатой древесоплите нагрузка распределяется между ламелями за счет сил трения более полно, чем через соединения на клею или механических связях. Это трение создается силами поперечного обжатия при натяжении высокопрочной арматуры, которая обычно используется в преднапряженных железобетонных конструкциях. Общий вид пролетного строения в форме ортотропной плиты на растянутых связях приведен на рис. 1.

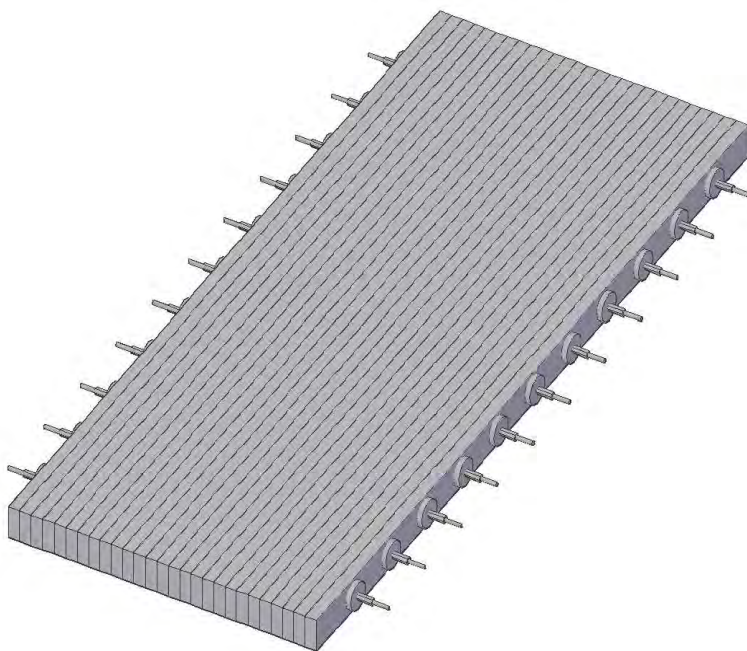


Рис. 1 – Общий вид обжатой древесоплиты.

Растянутые металлические связи в таких плитах помимо функции сопряжения деревянных ламелей между собой несут и дополнительную функцию поперечной предварительно напряженной арматуры, что позволяет увеличить несущую способность и жесткость пролетных строений в сравнении с аналогичными клееными деревоплитами [2]. Работа металлических стержней в этом случае имеет существенное отличие от нагельных соединений – гнездо под тяж, как правило, имеет диаметр, намного больший диаметра собственно тяжа, что обусловлено большой относительной толщиной соединяемого пакета досок и, следовательно, необходимостью предусмотреть сборочные допуски не менее 3-4 мм. Кроме того, относительный диаметр связи, а, следовательно, и её изгибная жесткость весьма невелики. Таким образом, все соединения в конструкции – фрикционные.

Определение напряженно-деформированного состояния (НДС) рассматриваемой плиты производилось в 2 этапа:

– на первом этапе плита рассматривалась как цельная, определялись усилия, возникающие в поперечных сечениях;

– на втором этапе плита рассматривалась как составная, ставилось условие превышения силами трения, возникающими в результате поперечного обжатия пакета, усилий, вызывающих проскальзывание досок пакета относительно друг друга.

Методами теории упругости анизотропного тела определены напряжения в ортотропной плите при действии сосредоточенных сил на боковых гранях [3]. Функция напряжений удовлетворяет уравнению (1):

$$\frac{1}{E_2} \frac{\partial^4 F}{\partial x^4} + \left( \frac{1}{G} - \frac{2\nu_1}{E_1} \right) \frac{\partial^4 F}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{1}{E_1} \frac{\partial^4 F}{\partial y^4} = 0 \quad (1)$$

Изолинии напряжений располагаются на кривых четвертого порядка вида (2):

$$\frac{x^4}{E_1} + \left( \frac{1}{G} - \frac{2\nu_1}{E_1} \right) x^2 y^2 + \frac{y^4}{E_2} + \frac{P(u_1 + u_2)}{\pi h \sigma_0 \sqrt{E_1 E_2}} x(x^2 + y^2) = 0 \quad (2)$$

В данном случае напряжения от сосредоточенной силы будут распределены по закону эллипса (рис. 2).

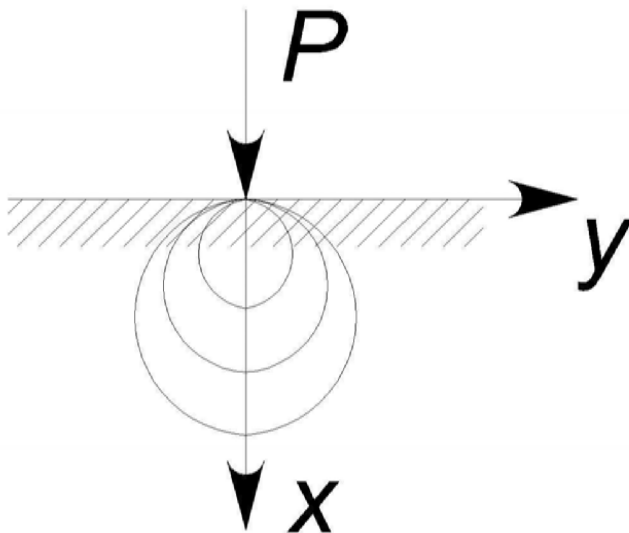


Рис. 2 – Характер распределения напряжений.

Выполним расчет напряжений  $\sigma_x$  на оси X при  $Y=0$  (рис. 2) для составной деревоплиты из древесины сосны. Упругие характеристики материала принимаем согласно [1]:  $E_1=16600$  МПа,  $E_2=1124$  МПа,  $G=1180$  МПа,  $\nu_1=0,038$ ,  $\nu_2=0,42$ . Результаты расчета сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Теоретические напряжения вдоль оси X

№ п/п	Координата X, мм	Напряжение $\sigma_x$ , МПа, при нагрузке P, Н		
		10000	20000	30000
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1	20,0	-0,745	-1,489	-2,234
2	62,5	-0,238	-0,476	-0,715
3	110,0	-0,135	-0,271	-0,406
4	152,5	-0,098	-0,195	-0,293

В лаборатории Конструкций из дерева и пластмасс СПбГАСУ была изготовлена опытная модель обжатой деревоплиты с размерами: длина  $l=3000$  мм, ширина  $b=405$  мм, толщина  $h=120$  мм. Данная плита

состоит из девяти ламелей (фрезерованные доски, сосна) и 11 тяжей (резьбовая шпилька класса 8.8, диаметр 12 мм), установленных с шагом 25 мм.

Выбранные при расчете напряжений координаты по оси X соответствуют точкам опытной модели, в которых впоследствии определялись напряжения методом тензометрии. Так как при тензометрии элементов конструкций, выполненных из анизотропных материалов, рекомендуется применять беспетлевые датчики, чтобы избежать погрешностей, связанных с различием поперечных деформаций материала в разных направлениях [1], то в настоящей работе применялись тензометрические датчики струнного типа с уменьшенной базой (до 5 мм). Датчики устанавливались строго по оси тяжей. Напряжения в ламелях измерялись при трех уровнях нагружения: 10 кН, 20 кН, 30 кН. Для повышения точности эксперимента каждый опыт повторялся трижды.

Результаты экспериментального определения напряжений сведены в таблицу 2.

*Таблица 2 – Экспериментально полученные напряжения вдоль оси X*

№ п/п	Координата X, мм	Напряжение $\sigma_x$ , МПа, при нагрузке P, Н		
		10000	20000	30000
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1	20,0	-0,566	-1,073	-2,039
2	62,5	-0,198	-0,467	-0,668
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
3	110,0	-0,099	-0,197	-0,362
4	152,5	-0,092	-0,161	-0,259

Следует отметить, что часть тензометрических датчиков устанавливалась параллельно осям тяжей (рис. 3а), а другая – параллельно осям волокон ламелей (рис. 3б). Анализ таблиц 1 и 2 показывает, что результаты тензометрии согласуются с расчетными значениями напряжений с погрешностью от 2 до 27%, причем минимальные отклонения величины напряжения наблюдаются у датчиков, установленных параллельно осям тяжей (2-17%), а максимальные – у датчиков, установленных параллельно осям волокон ламелей (9-27%).

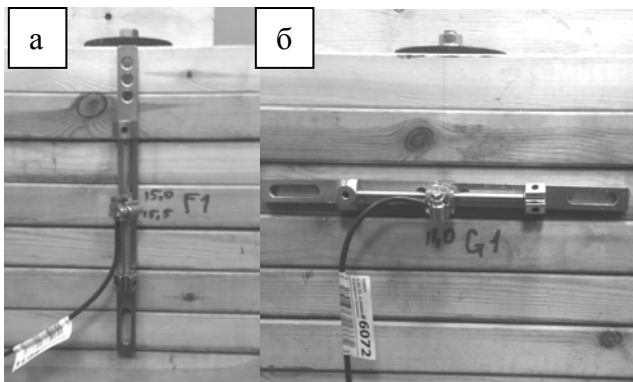


Рис. 3 – Установленные датчики;  
а – вдоль оси тяжей; б – вдоль оси волокон ламелей.

Это позволяет сделать следующие выводы:

- предложенная модель составной деревоплиты на растянутых связях как цельной ортотропной плиты, нагруженной сосредоточенными силами на боковых гранях, в целом позволяет определять НДС реальной конструкции;
- при тензометрии обжатых деревоплит недопустимо устанавливать датчики перпендикулярно осям тяжей;
- предложенная модель подлежит уточнению в ходе дополнительных экспериментальных исследований.

#### *Список литературы:*

1. *Ашкенази, Е. К.* Анизотропия конструкционных материалов. Справочник / Е. К. Ашкенази, Э. В. Ганов. – Ленинград: Машиностроение, 1980. – 247 с.
1. *Дмитриев, П. А.* Конструкции из дерева и пластмасс. Специальный курс. Автодорожные и пешеходные мосты / П. А. Дмитриев. – Оренбург: ИПК Газпромпечат, 2002. – 192 с.
2. *Лехницкий, С. Г.* Анизотропные пластинки. 2 издание / С. Г. Лехницкий. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1957. – 464 с.
3. *Уткин, В. А.* Автодорожные деревянные мосты нового поколения / В. А. Уткин, П. Н. Кобзев. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2004. – 55 с.