

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА КОНСТРУКЦИИ ИЗ БАЛЬЗЫ

*В.Л. Высоковский, Н.А. Зямбаев*

## THE CHOICE OF AN OPTIMAL VARIANT OF Balsa WOOD CONSTRUCTIONS

*V.L. Vysokovskiy, N.Y. Zyambaev*

**Представлен расчет упругой модели пространственной конструкции из бальзы с использованием программного комплекса «Лира». Произведен выбор оптимального варианта конструкции в соответствии с условиями конкурса «Одиссея разума».**

*Ключевые слова: «Одиссея разума», конструкция из бальзы, расчет на прочность и устойчивость, программный комплекс «Лира 9.6», оптимальный вариант конструкции, масса конструкции, поперечные сечения стержней, деформированная схема, форма потери устойчивости, коэффициент запаса.*

**The calculation of elastic model of the balsa wood spatial structures with the use of the software package “Lira” is represented. The choice of an optimal variant of the structure in accordance with the terms of the contest “Odyssey of Mind” is made.**

*Keywords: “Odyssey of Mind”, balsa wood construction, strength and stability calculation, software package “Lira 9.6”, optimal variant of the construction, structural weight, bar cross-sections, distortional scheme, mode of buckling, factor of ignorance.*

Одиссея Разума – международная интеллектуальная программа [1], целью которой является развитие креативности (нестандартного мышления) у детей и молодежи (начиная с детского сада и оканчивая университетом) посредством решения нестандартных проблем. В процессе решения предложенных проблем участники развивают творческое мышление, которое может быть применено в реальной жизни. В данной программе участвует более 20 стран мира.

Интеллектуальный конкурс «Одиссея разума» состоит из 3 частей: долгосрочная проблема, представление (так называемый «стиль») и спонтанный конкурс (решение логической задачи за короткий промежуток времени с использованием представленных подручных средств). Наша команда занимается долгосрочной проблемой № 4.

Задача команды – спроектировать и построить конструкцию из бальзы (порода древесины с плотностью в пределах 120–300 кг/м<sup>3</sup>) и клея, которая сможет выдержать как можно больший вес. При этом каждый год формулируются дополнительные условия, которые разнообразят задание и повышают интерес к соревнованиям. В сезоне 2011/2012 особенность проблемы заключается в том, что конструкция попадет в одну из трех весовых категорий и будет оцениваться в соответствии с ней: масса конструкции может быть до 9 г, в этом случае при начислении очков вес, который она выдержит, удвоится; до 12 г – в этом

случае вес, который она выдержала, увеличится в полтора раза, или до 15 г – в этом случае очки будут начислены за реальный вес, выдержанный конструкцией, и он не будет увеличен. При создании конструкции должны быть использованы только бальза и клей. По высоте конструкция должна быть не меньше 20,32 см и при тестировании должна иметь сквозное отверстие по всей высоте так, чтобы «трубка безопасности» диаметром не менее 5,1 см смогла проходить сквозь него. Конструкция склеивается из бальзовых прутиков с размерами поперечного сечения 0,32 × 0,32 см.

В расчетах были рассмотрены четыре варианта конструкции. Их параметры: высота – 20,5 см, средняя плотность материала – 220 кг/м<sup>3</sup>, модуль упругости  $E = 230\,000$  т/м<sup>2</sup> (получен экспериментальным путем в результате испытаний на сжатие склеенных из бальзы образцов с размерами 0,96 × 0,96 × 1 см). Раскосы и горизонтальные связи во всех четырех конструкциях имеют квадратное поперечное сечение 3,2 × 3,2 мм. Кроме того, во всех вариантах на расстоянии 1 см от концов стоек и в их середине имеются вставки длиной 1,5 см.

В первом варианте конструкции масса до 9 г. Для стоек было принято сечение в виде креста (масса 8,95 г) (рис. 1, а). Параметры поперечных сечений стоек представлены на рис. 1 (здесь и на рис. 2–4 размеры сечений указаны в миллиметрах).

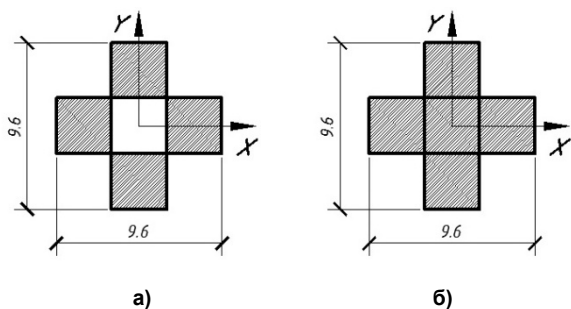


Рис. 1. Поперечные сечения стоек конструкции массой 8,95 г: а – основное сечение стоек; б – сечение стоек в местах вставок

Объемная и конечноэлементная модели конструкции представлены на рис. 2. Для следующих вариантов конструкций они аналогичны с учетом изменения поперечных сечений стоек.

Эксперимент показал, что предел прочности бальзы при сжатии составляет около  $120 \text{ кг/см}^2$ . При этом из расчета на прочность конструкция должна выдерживать  $3 \cdot 4 \cdot 0,32^2 \cdot 120 = 147,5 \text{ кг}$ .

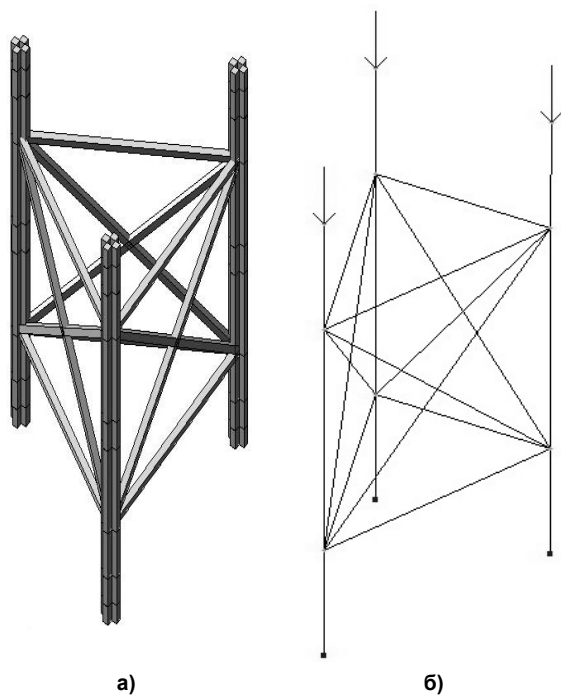


Рис. 2. Объемная (а) и конечноэлементная (б) модели конструкции массой 8,95 г

При расчете на устойчивость, который выполняется с использованием программного комплекса «Лира 9.6» [2], определяющим показателем является коэффициент запаса  $K$ , который представляет собой отношение критической нагрузки к действующей. Если  $K \geq 1$ , то конструкция не потеряет устойчивость. Если  $K < 1$ , то конструкция потеряет устойчивость при заданной нагрузке. При нагрузке  $147,5 \text{ кг}$   $K = 0,241$ . Значит предельная нагрузка при расчете на устойчивость составит

$147,5 \cdot 0,241 = 35,6 \text{ кг}$ . Деформированная схема и форма потери устойчивости конструкции приведены на рис. 3.

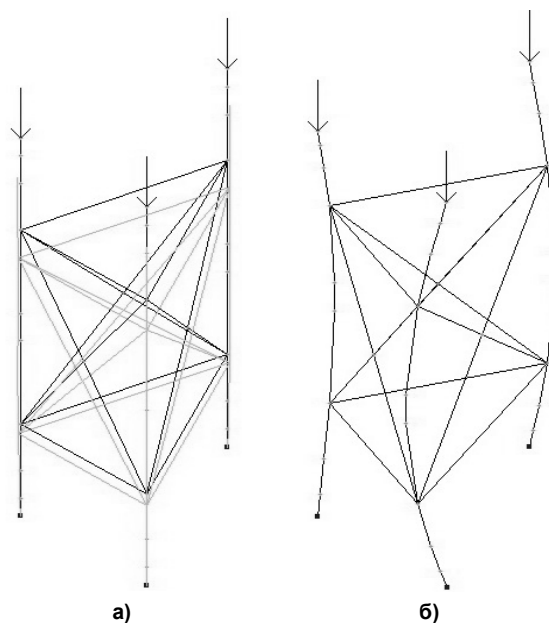


Рис. 3. Деформированная схема (а) и форма потери устойчивости (б) конструкции массой 8,95 г

При массе до 12 г рассмотрим два варианта сечения стоек. В первом случае масса конструкции составляет 11,65 г, а во втором – 11,85 г. Параметры поперечных сечений стоек представлены на рис. 4.

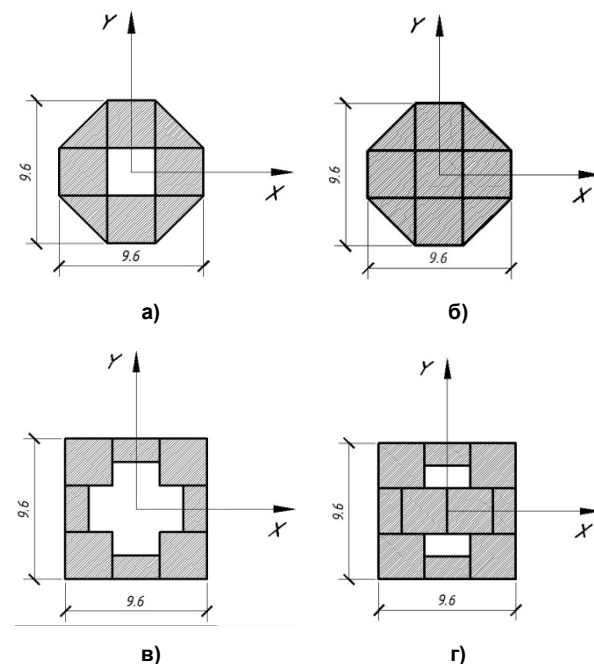


Рис. 4. Поперечные сечения конструкции массой 11,65 и 11,85 г: а, в – основное сечение стоек конструкций массой 11,65 и 11,85 г соответственно; б, г – сечение стоек конструкций массой 11,65 и 11,85 г соответственно в местах вставок

Расчет на прочность показал, что обе конструкции должны выдерживать  $3 \cdot 6 \cdot 0,32^2 \cdot 120 = 221$  кг (площадь поперечного сечения стоек у них одинакова).

Из расчета на устойчивость видно, что при нагрузке 221 кг у первой конструкции  $K = 0,24$ , т. е. предельно допустимая нагрузка равна  $221 \cdot 0,24 = 53$  кг; у второй –  $K = 0,481$ , т. е. предельно допустимая нагрузка равна  $221 \cdot 0,481 = 106,2$  кг. Деформированные схемы и формы потери устойчивости конструкций аналогичны приведенным на рис. 3.

Четвертый вариант конструкции – масса до 15 г. Параметры поперечных сечений стоек представлены на рис. 5.

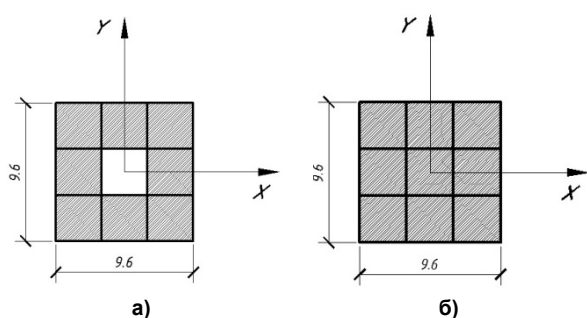


Рис. 5. Поперечные сечения стоек конструкции массой 14,5 г: а – основное сечение; б – сечение в местах вставок

Условию прочности соответствует нагрузка  $8 \cdot 3 \cdot 0,32^2 \cdot 120 = 295$  кг.

Расчет на устойчивость показал, что при нагрузке 295 кг  $K = 0,406$ , т. е. предельно допустимая нагрузка равна  $295 \cdot 0,406 = 119,7$  кг. Деформированная схема и форма потери устойчивости конструкции также аналогична приведенным на рис. 3.

Итак, произведенный расчет показал, что конструкция массой 8,95 г выдерживает около 35,6 кг, конструкция массой 11,65 г – 53 кг, массой 11,85 г – 106,2 кг, а конструкция массой 14,5 г – 119,7 кг соответственно. Учитывая условия конкурса «Одиссея разума», в первом случае команда получит  $35,6 \cdot 2 = 71,2$  очка, во втором –  $53 \cdot 1,5 = 79,5$  очков, в третьем –  $106,2 \cdot 1,5 = 159,3$  очка, а в четвертом – 120,7 очков соответственно. Таким образом, по результатам расчета самым выгодным вариантом оказалась конструкция массой до 12 г с поперечным сечением стоек, изображенным на рис. 4, в, г. Преимущество третьего варианта конструкции, кроме коэффициента, увеличивающего полученные командой очки в 1,5 раза, объясняется большим радиусом инерции сечения стоек по сравнению со вторым вариантом.

#### Литература

1. Положение о проведении областного конкурса «Одиссея Разума-2012». – [www.odysseyofthemind.com](http://www.odysseyofthemind.com). – 2011. – 21 с.
2. ЛИРА 9.6. Примеры расчета и проектирования / Ю.В. Гензерский, А.Н. Куценко. – Киев: Изд-во НИИАСС, 2009. – 124 с.

Поступила в редакцию 12 марта 2012 г.