

УДК 624.011

И.Л. Кузнецов – доктор технических наук, профессор

А.А. Актуганов – аспирант

А.П. Трофимов – магистр

E-mail: kuz377@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛОДЕРЕВЯННОЙ ДВУТАВРОВОЙ БАЛКИ

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается новое конструктивное решение металлодеревянной двутавровой балки, включающей пояса из древесины, соединенные тонколистовой стальной стенкой с поперечными гофрами. Приводятся конструктивные параметры опытного образца балки и результаты экспериментальных исследований, а также сравнительная оценка уровня напряжений и прогибов с данными теоретических расчетов, выполненных по различным вариантам расчетных схем.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: металлодеревянная двутавровая балка, тонколистовая стальная стенка, экспериментальные исследования, сравнительные оценки.

I.L. Kuznetsov – doctor of technical sciences, professor

A.A. Aktuganov – post-graduate student

A.P. Trofimov – magistrate

Kazan State University of Architecture and Engineering

DESIGNING AND RESEARCH OF A COMPOSITE STEEL AND WOOD (FLITCHED) I-BEAM

ABSTRACT

The paper deals with a new structural solution of a composite steel and wood (flitched) I-beam that consists of two wooden chords joined by the light-gauge steel web plate with buckles. The design data of a prototype model of the I-beam and results of experimental research and the assessment comparing stress and deflection level with theoretical calculation data obtained from the different analytical models are given.

KEYWORDS: composite steel and wood (flitched) I-beam, light-gauge steel web plate, experimental research, comparative assessment.

В современной практике строительства наибольшее применение нашли дощатоклеевые балки пролетом 6-24 м. Несмотря на высокую технологичность указанных балок, их применение сдерживается значительным расходом древесины. Поэтому в целях уменьшения расхода материала применяются двутавровые балки, в которых пояса выполняются из цельной или клееной древесины, а стенка – из плоской или волнистой фанеры [1]. В настоящей статье рассматривается новая конструкция двутавровой балки, включающая пояса из древесины и стенку из тонколистовой оцинкованной стали (рис. 1).

Для обеспечения устойчивости тонколистовой стенки на ней выполняются вертикальные полуцилиндрические гофры с поочередной ориентацией влево и вправо относительно ее плоскости. Для крепления стенки балки к поясам в последних выполнены продольные пропилы и цилиндрические углубления, в которые устанавливаются продольные кромки стенки и заполняются эпоксидным клеем.

Учитывая, что предлагаемая конструкция металлодеревянной балки является новой [4] и для нее отсутствует методика расчета, а тем более – данные о фактической ее работе, было решено провести как теоретические, так и экспериментальные исследования по установлению ее действительной работы.

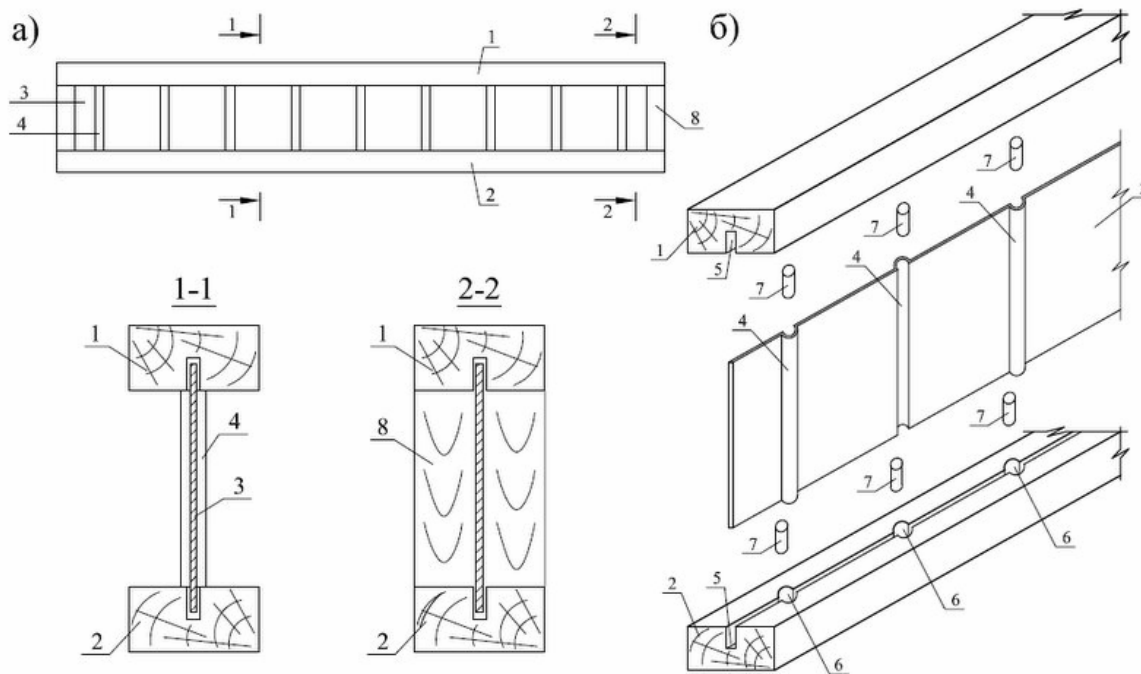


Рис. 1. Конструкция металлодеревянной двугавровой балки: а – общий вид и разрезы; б – аксонометрия фрагмента балки в процессе сборки; 1 – верхний пояс; 2 – нижний пояс; 3 – стальная стенка; 4 – гофры полуцилиндрической формы; 5 – продольный пропил; 6 – углубления цилиндрической формы; 7 – цилиндрические нагели; 8 – опорные ребра



Рис. 2. Опытный образец балки в процессе испытания

Для проведения теоретических и экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния (НДС) был изготовлен опытный образец балки (рис. 2). Этот образец изготовлен пролетом 2,4 м с габаритной высотой 265 мм. Пояса балки выполнены из сосны 2-го сорта поперечным сечением 197x50 мм. Стенка балки изготовлена из оцинкованной стали шириной 210 мм и толщиной 0,63 мм. На стенке балки выполнены гофры, разделяющие ее на 10 отсеков. Гофры полуцилиндрической формы диаметром 30 мм, шаг которых у опор 120 мм, а в середине – 320 мм. Пояса имеют продольный пропил шириной 3 мм, глубиной 23 мм и цилиндрические углубления диаметром 32 мм. Плоские участки стенки размещены в продольных пропилах поясов, а торцы гофров – в цилиндрических углублениях и зафиксированы нагелями диаметром 30 мм, выполненными из березы. Стенка балки и пояса в пропилах и углублениях соединены эпоксидным клеем. В опорных зонах балки по обе стороны стенки установлены вертикальные ребра из сосны сечением 50x50 мм.

Теоретическое определение НДС экспериментальной балки выполнялось по двум расчетным схемам.

Первая расчетная схема (РС1) представляла собой ферму, пояса которой повторяют пояса балки, а решетка включала стойки и нисходящие раскосы, работающие на растяжение. Сечение стоек включало гофру и части стенки по обе стороны от него шириной по $0,65t\sqrt{E/R_y}$ [2]. Площадь растянутых раскосов принималась вариантно: как из условия равенства угла сдвига стенки отсека и решетчатого аналога, так и по методике балок с гибкой стенкой [3].

Вторая расчетная схема (РС2) балки (рис. 3) представляла собой конечно-элементную модель. Построение модели велось в трехмерном пространстве оXYZ в масштабе 1:1. Для моделирования стальной стенки использовались плоские четырехузловые прямоугольные конечные элементы (КЭ-41). Для моделирования поясов и опорных ребер из дерева использовались объемные конечные элементы (КЭ-31). В местах наличия вертикальных гофров сетка конечных элементов сгущалась. Расчет выполнялся в программном комплексе ЛИРА 9.4.

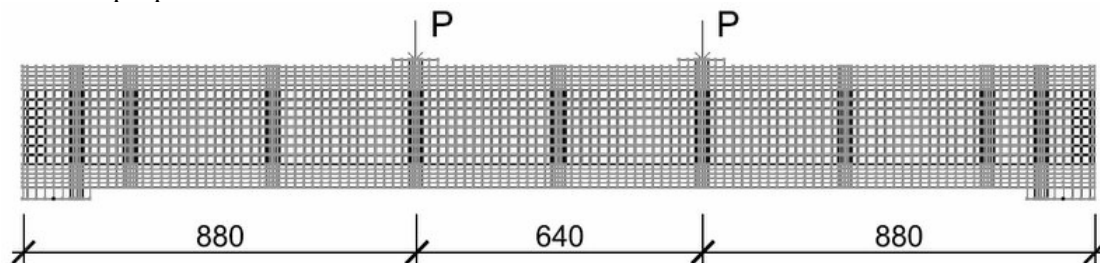


Рис. 3. Конечно-элементная модель балки

Испытания балки проводились на специальной рычажной установке (рис. 2). Балка укладывалась на шарнирные опоры, а загрузка осуществлялась мерным грузом, прикладываемым к рычагу с соотношением плеч 1:6. Нагрузка на балку прикладывалась через траверсу в двух точках интенсивностью P симметрично относительно середины балки (рис. 2, 3). Напряжения в поясах балки определялись по показаниям тензодатчиков, наклеенных в середине пролета и подключенных к измерителю деформаций АИД-4. Прогиб балки определялся в середине балки прогибомером дистанционного типа. Для определения относительного сдвига поясов и стенки балки в двух крайних отсеках были установлены индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Результаты испытания балки и теоретических расчетов приведены в виде графиков (рис. 4-7).

При загрузке балки нагрузкой $P=500$ кг ее фактическая работа полностью соответствовала теоретическим расчетам (рис. 4-7). Однако, при увеличении испытательной нагрузки интенсивность нарастания прогиба балки значительно увеличилась: вначале третьего, а затем – и четвертого отсеков стенки балки. Объяснением этому является выпучивание стенки, которое происходило в угловых зонах, расположенных сверху и внизу от нисходящих диагоналей отсеков стенки.

При нагрузке $P=800$ кг пояса балки продолжали работать в упругой стадии, а в зонах потери местной устойчивости стенки балки происходило увеличение изгиба, при этом зона отсеков стенки по направлению нисходящих диагоналей шириной 40x60 мм оставалась прямолинейной. Прогиб балки при нагрузке 800 кг составил 1/150 пролета.

При снятии нагрузки остаточный прогиб балки составил 23 % от полного, при этом стенка балки возвратилась в первоначальное положение.

Максимальная величина сдвига стенки относительно поясов балки при нагрузке $P=800$ кг составила 1,8 мм, а при снятии нагрузки эта величина осталась равной 0,1 мм.

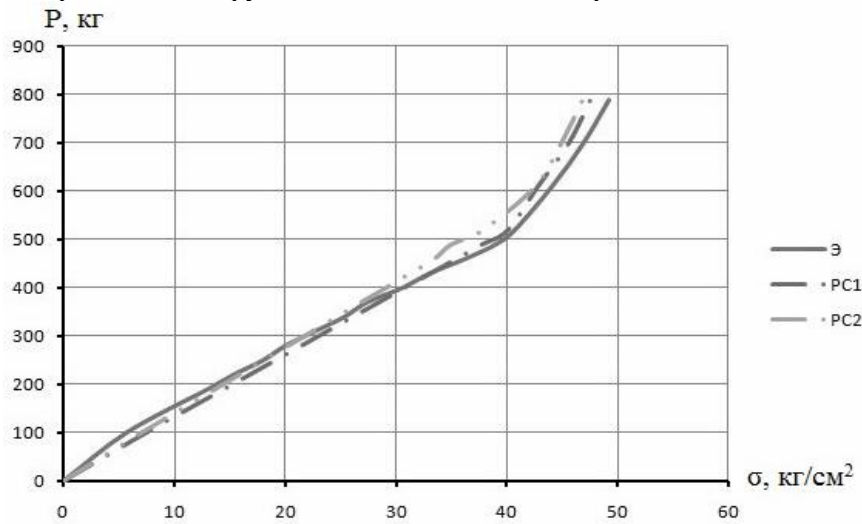


Рис. 4. Значения средних напряжений в нижнем поясе балки: Э – экспериментальное значение; PC1 – значение по первой расчетной схеме; PC2 – значение по второй расчетной схеме

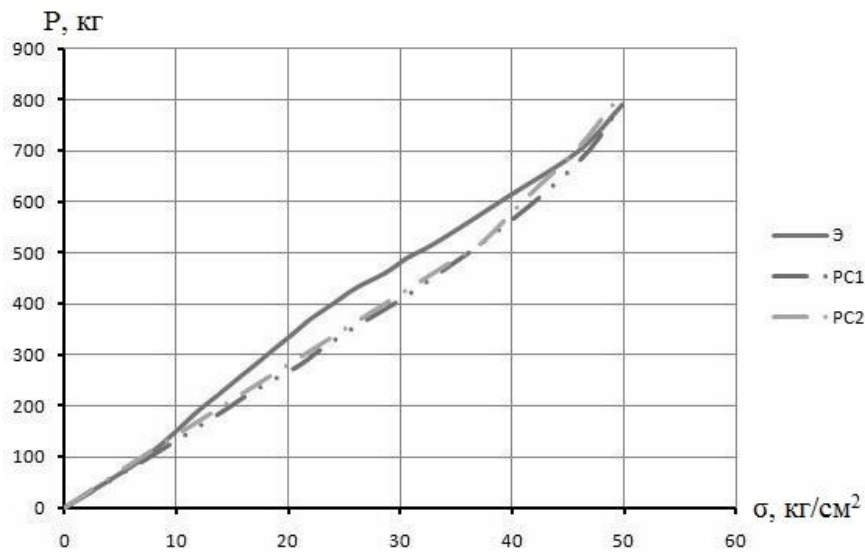


Рис. 5. Значения средних напряжений в верхнем поясе балки

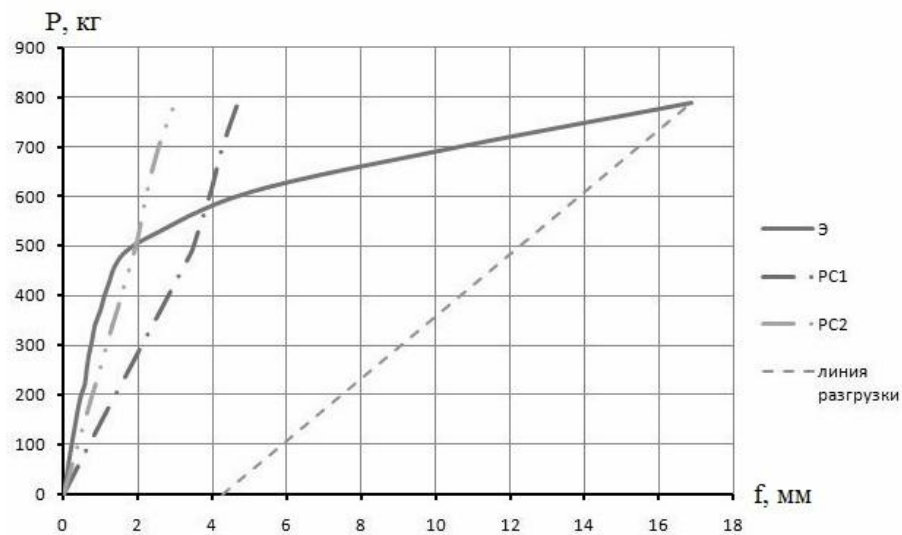


Рис. 6. Значения прогиба балки

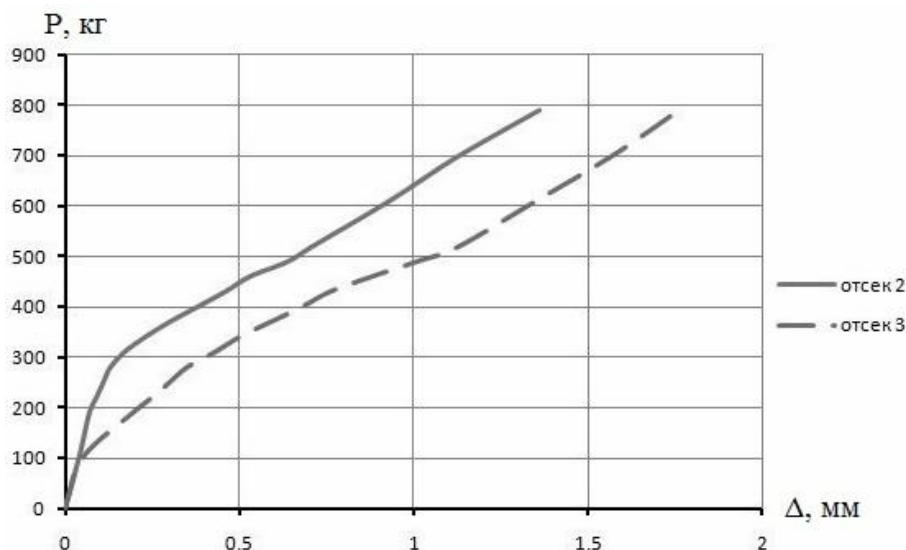


Рис. 7. Значение относительного сдвига поясов и стенки

Выводы

1. Результаты изготовления опытного образца балки, расчетов и экспериментальных исследований показали высокую технологичность изготовления конструкции, предсказуемость ее фактической работы данным теоретических расчетов.

2. Исследованием установлено, что стенка балки в пределах каждого отсека не включается в совместную работу с поясами, при этом восприятие перерезывающей силы происходит по типу решетчатой конструкции, т.е. с образованием частью стенки в зонах гофр стоек, работающих на сжатие, и нисходящих расколов, работающих на растяжение.

3. Принятое в балке силовое крепление стенки при помощи гофр и цилиндрических нагелей, как показали расчеты и экспериментальные исследования, достаточно эффективно и обеспечивает восприятие сдвигающих усилий.

4. Экспериментальные исследования показывают, что предельное состояние испытанной балки определяется ее прогибами и сдвигами нагельных соединений.

5. Практическая реализация металлодеревянной балки требует дальнейших исследований по уточнению расчетной схемы в части учета действительной работы ее гибкой стальной стенки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас деревянных конструкций / К.-Г Гётц, Д. Хоор, К. Мёлер, Ю. Наттерер, пер. с нем. Н.И. Александровой, под ред. В.В. Ермолова. – М.: Стройиздат, 1985. – 272 с., ил. – Перевод изд.: Holzabu Atlas / К.-Н Gutz, D. Hoor, K. Mцhler, J. Natterer. – Munchen, 1978.
2. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.
3. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81* “Стальные конструкции”). ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП, 1989. – С. 88-90.
4. Кузнецов И.Л., Актуганов А.А., Трофимов А.П. Металлодеревянная двугавровая балка. Патент РФ № 2382855. МПК E04C 3/29. “Бюллетень” № 6 от 27.02.2010.