

УДК 694.4

## **Испытание новых эффективных конструктивных форм клефанерных балок**

**Бидаков А.Н.**

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Украина

**Анотація.** Розроблено новий вид клефанерних балок із криволінійною формою фанерної стінки, який має збільшену жорсткість і забезпечує її ефективну роботу, а також виключає необхідність улаштування поперечних ребер жорсткості, що робить балку більш технологічною.

**Аннотация.** Разработан новый вид клефанерных балок с криволинейной формой фанерной стенки, увеличивающей ее жесткость и обеспечивающей эффективную работу, а также исключающий необходимость установки поперечных ребер жесткости, что делает балку более технологичной.

**Abstract.** The new type of thin-webbed beam with curvilinear plywood web is developed, which has a higher stiffness and provides effective operation, as well as excludes necessity to install transversal ribs which makes the beam practically more feasible.

**Ключевые слова:** клефанерная балка, фанерная стенка, эффективные решения.

**Постановка проблемы.** В последние годы за рубежом обозначена тенденция использования фанерных элементов в проектах с применением клееных деревянных конструкций. Именно этот древесный листовый материал воплощает в реальность сложные футуристические формы амбициозных европейских архитекторов. Пока это павильоны, навесы, галереи и небольшие выставочные холлы. Такой диапазон применения столь высококачественного древесного материала обусловлен фрагментарным исследованием его свойств и поведения в составе сложных конструктивных форм. Активно формируется функциональный переход фанерных конструкций от применения в ограждающих и декоративных системах к несущим конструкциям.

**Анализ существующих решений.** До настоящего времени известны несколько конструктивных решений, в которых фанера применяется в качестве стенки в клефанерных балках, рамах и арках. В таких системах используются двутавровые поперечные сечения с плоской или волнистой фанерными стенками, а также в виде коробчатых сечений. Использование таких фанерных стенок могло привести к потере их устойчивости. Для обеспечения надежности работы стенки требовалась установка поперечных ребер жесткости с их тщательной подгонкой к поясам. Это резко повышало трудоемкость и, как следствие, увеличивало стоимость

конструкції. Сниженная материалоемкость клефанерных балок с плоской фанерной стенкой не оправдывала необходимых трудозатрат, потому так и не получила широкого применения в конструктивных решениях покрытий и перекрытий зданий.

Среди отечественных специалистов значительные экспериментальные и аналитические исследования клефанерных балок принадлежат таким исследователям как Дмитриев П. А., Осипов Ю. К., Большаков В. В., Макаров Г. П., Кириленко В. Ф. [4–6]. Конструктивные решения и рекомендации специалистов носили лишь локальный характер конструктивных изменений балочной конструкции. Огромное внимание к фанерным конструкциям наблюдается за последние четыре года в работах немецких ученых, в особенности школы профессора Н. J. Blaß, а также, M. Frese, P. Glos [8] и M. Flaig [7]. Исследования, связанные с поведением фанерных элементов в различных постановках задач, проведены японским специалистом Hiroshi Yoshihara [9, 10]. Стоит отметить, что направления работ указанных специалистов не совпадают, что свидетельствует о широте диапазона существующих вопросов относительно особенностей работы древесных пластиков.

**Методика проведения экспериментов.** В 2012 году в лаборатории строительных конструкций проводились испытания нового типа клефанерных балок с изогнутыми фанерными стенками и дощатыми клееными поясами.

Испытывались три балки пролетом 2 м с разными радиусами кривизны элементов стенки (400 мм, 600 мм и 800 мм), при одинаковых сечениях поясов и высоты балок. Фанерные стенки соединяются с поясами балок с помощью высокопрочных клеев через наклонные пропилы, выполненные в поясах балки (в процессе ее изготовления), рис. 1. По краям балки устанавливаются опорные ребра, одна из граней которых повторяет кривизну фанерной стенки и плотно приторцовывается к ней.

Пояса балочной конструкции были изготовлены из клееной древесины сосны и трехслойной березовой фанеры повышенной влагостойкости 1-го сорта марки ФСФ.

Тонкая фанера была принята для исследования и получения опытных данных, поскольку дает наглядную картину поведения фанерных листов с их сложной геометрией. Рекомендуемая минимальная толщина фанеры в строительных конструкциях принимается не менее 8 мм по нормативным требованиям [1].

На рис. 2 представлены графики для определения расчетных сопротивлений при растяжении под углом к волокнам наружных слоев березовой фанеры марки ФСФ по [1], для  $a$  – семислойной фанеры;  $b$  – пятислойной фанеры.



Рис. 1. Новая балочная конструкция в процессе изготовления

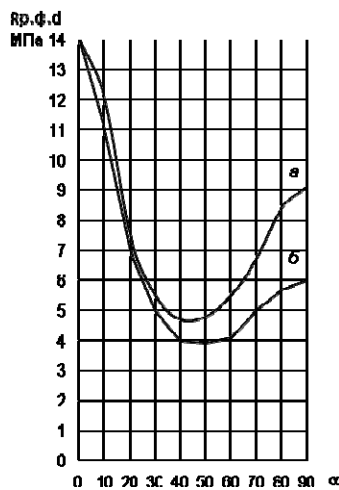


Рис. 2. Кривые расчетных сопротивлений под различными углами к волокнам наружных слоев

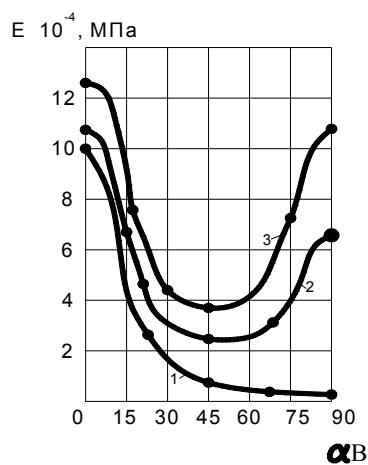


Рис. 3. Кривые изменения модуля упругости фанеры под различными углами к волокнам наружных слоев

Приведенные проф. Ашкенази Е. К. [3] кривые изменения модуля упругости  $E$  березовой фанеры построены по экспериментальным данным в зависимости от структуры материала и представлены на рис. 3. Кривая 1 относится к шпону, т. е., в сущности, отражает анизотропию натуральной древесины березы в тангенциальной плоскости  $at$ . Кривая 2 относится к трехслойной фанере, в которой волокна в среднем слое шпона перпендикулярны волокнам рубашек. Кривая 3 – многослойная фанера из 15 слоев. Сопоставление кривых показывает, что структура (слойность) фанеры мало влияет на величину модуля  $E$  в направлении волокон рубашки и в диагональном направлении.

Испытания моделей балок (рис. 4) проводились путем нагружения их домкратом грузоподъемностью 25 т через траверсу, распределяющую нагрузку на две точки, соответствующие третям пролета.



Рис. 4. Экспериментальный образец X-образной балки

Передача нагрузки на балку от траверсы осуществлялась через деревянные бруски и металлические пластины, лежащие сверху на этих брусках и контактирующие непосредственно с траверсой. Все испытуемые модели балок были раскреплены с двух сторон в верхнем поясе балки. Методика испытаний состояла в нагружении балки с шагом нагрузки 0,5 т с последующей разгрузкой с таким же шагом, с фиксацией показаний датчиков при нагружении и разгрузке балки. Все балки в процессе испытаний доводились до разрушения. Величина угловых перемещений каждого торца балки фиксировалась четырьмя индикаторами часового типа, а показания прогибов балки снимались для нижнего и верхнего поясов отдельно, двумя прогибомерами с точностью деления 0,001 мм. Для измерения деформаций использовались датчики базой 20 мм, сопротивлением примерно 200 Ом. В качестве измерительной аппаратуры применялся автоматический 100-позиционный прецизионный переключатель АП-3 и автоматический измеритель деформаций АИД-4. Температура в помещении во время испытаний составляла примерно +25 °С и влажность древесины колебалась от 12 % до 14 %. В рамках испытаний внимание акцентировалось не только на кривизне фанерной стенки, но и на расположении накладок стыкуемых листов, которые устанавливались под наклоном либо вертикально, причем последнее оказалось более эффективным. Вопрос о стыковке накладками более чем актуален и интересен в связи с изогнутостью стенки балки. Стыки стенок выполнялись как с одной стороны балки обеих гнутых стенок, так и диагонально в противоположных частях по длине балки. Схема экспериментальной модели с местами установки датчиков активного сопротивления, а также схема нагружения приведены на рис. 5.

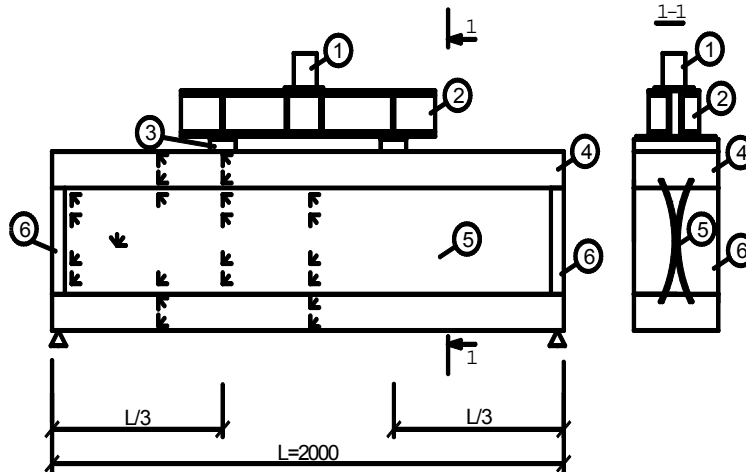


Рис. 5. Схема нагруження експериментальної моделі  
1 – домкрат; 2 – розподільна стальна траверса; 3 – дерев'яні бруски; 4 – пояс балки из клееної деревини; 5 – фанерні стінки балки; 6 – торцеві ребра жорсткості из цільної деревини

**Обсуждение результатов.** Результаты испытаний балок и, в частности, поведение криволинейных фанерных элементов носили характер абсолютной новизны и лишь частично оправдали ожидания и предположения о работе конструкции в целом. Перед началом испытаний были проведены предварительные расчеты моделей с помощью аналитической расчетной программы ANSYS. Результаты расчетов представляли интерес лишь в получении общей картины работы новой балочной конструкции и приближенных результатов. Анализ полученных результатов позволил уточнить места расположения датчиков на испытываемых моделях, хотя нелинейность геометрии требовала максимально тщательного исследования конструкции, особенно криволинейной поверхности. Таким образом, количество датчиков на испытательных образцах составляло 150 (+/-5) шт, из которых 70 % устанавливались розеткой на фанерной стенке и деревянных клееных поясах. В настоящее время результаты показаний тензодатчиков обрабатываются, и можно лишь говорить о визуальных наблюдениях во время испытаний и характере разрушений трех балок. Ряд наблюдений оказался более чем важным, например, смена знака деформаций фанеры с увеличением нагрузки, чего не способны учесть современные расчетные программные комплексы, даже при рассмотрении ортотропии фанерного элемента.

На рис. 6 побудовані графіки прогибів для верхніх поясів (сплошна лінія) і для нижніх поясів (пунктирна лінія) для різних етапів навантаження балок.

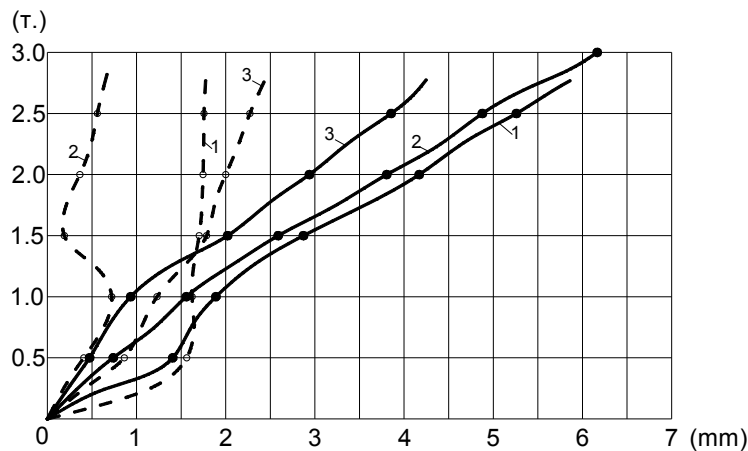


Рис. 6. Криві прогибів поясів для балок з різними радіусами кривизни стенок: 1 – R=400 mm; 2 – R=600 mm і 3 – R=800 mm

Побудовані криві показують, що балка з радіусом кривизни фанерної стінки 800 мм має найбільшу жорсткість порівняно з іншими балками, а близьке розташування пунктирної та сплошної кривих 3 свідчить про тривалий інтервал спільної роботи поясів. Пунктирна крива 2 має різкий стрибок у бік зменшення деформації і відповідає випадку взаємного зміщення нейтральних осей фанерних стенок і зменшення участі в роботі нижнього пояса, що і спостерігалося під час проведення експерименту.

Зразки деревини поясів та фанери стенок були випробувані під різними кутами, а отримані характеристики будуть вводитися в розрахунковий програмний комплекс для отримання адекватної інформації про роботу конструкції.

### Висновки

Проведені експериментальні дослідження клеєфанерних балочних конструкцій нового типу показали позитивні перспективи для їх застосування, підтверджуючі очікування в плані підвищеної жорсткості стінки балки. Експериментом встановлено можливість існування безреберних балочних конструкцій, при одночасному підвищенні технологічності їх виробництва і, відповідно, рентабельності для активного впровадження.

## **Литература**

- [1] Деревянные конструкции : СНиП II-25-80. – Офиц. изд. – М. : Стройиздат, 1982. – 76 с. – (Строительные нормы и правила).
- [2] Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона листовых пород. Технические условия : ГОСТ 3916.1-96. – Офиц. изд. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1997. – 15 с. – (Межгосударственный стандарт).
- [3] Ашкенази Е. К. Анизотропия конструкционных материалов. Справочник / Е. К. Ашкенази, Э. В. Ганов. – Л. : Машиностроение, 1980. – 247 с.
- [4] Кириленко В. Ф. Напряженно-деформированное состояние клеефанерных балок с прерывистой фанерной стенкой / В. Ф. Кириленко, М. В. Колыхан, Е. Ю. Якушкова, А. Н. Янчук // Строительство и техногенная безопасность: сб. науч. трудов / НАПКС. — Симферополь: НАПКС, 2007. – Вып. 21. – С. 16–20.
- [5] Кириленко В. Ф. Напряжения в приопорных зонах деревофанерных балок / В. Ф. Кириленко, М. Ю. Кузенков // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць / Національний університет водного господарства та природокористування. – Рівне, 2009. – Вип. 19. – С. 159–164.
- [6] Кириленко В. Ф. Напряжения в деревофанерной балке двутаврового сечения / В. Ф. Кириленко, М. Ю. Кузенков // Строительство и техногенная безопасность: сб. науч. трудов / НАПКС. – Симферополь: НАПКС, 2009. – Вып. 29. – С. 71–79.
- [7] Flaig M. Modellierung der Biegefestigkeit von hochkant auf Biegung beanspruchten Bauteilen aus Brettsperholz / M. Flaig // Forschungskolloquium Holzbau «Forschung und Praxis». – Stuttgart, 2012. – 8 S.
- [8] Blaß H. Biegefestigkeit von Brettschichtholz aus Buche / [H. J. Blaß, M. Frese, P. Glos, P. Linsenmann, J. Denzler] // Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau / Universität Karlsruhe (TH), Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen. – Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2004. – 137 S.
- [9] Hiroshi Yoshihara. Bending properties of medium-density fiberboard and plywood obtained by compression bending test / Yoshihara Hiroshi // Forest Products Journal. – 2011. – № 61 (1). – P. 56–63.
- [10] Hiroshi Yoshihara. Influence of the specimen depth to length ratio and lamination construction on Young's modulus and in-plane shear modulus of plywood measured by flexural vibration / Yoshihara Hiroshi // BioResources. – 2012. – № 7 (1). – P. 1337–1351.

*Надійшла до редколегії 18.09.2013 р.*