

УДК 624.072.221.011.14.046.2

Е.Н. Серов, С.А. Лабутов

Серов Евгений Николаевич родился в 1932 г., окончил в 1963 г. Ленинградский инженерно-строительный институт, доктор технических наук, профессор кафедры конструкций из дерева и пластмасс С.-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. Имеет более 100 научных работ в области клееных деревянных конструкций и учета анизотропии при оценке их прочности.



Лабутов Сергей Анатольевич родился в 1981 г., окончил в 2003 г. С.-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, аспирант кафедры конструкций из дерева и пластмасс СПбГАСУ. Имеет 3 печатные работы в области строительных конструкций.



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ НА ОПОРАХ КЛЕЕФАНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассмотрена особенность распределения напряжений в клеефанерных конструкциях, указано на необходимость оценки поперечных деформаций расслоения фанерной стенки, поставлен вопрос о необходимости исследования величины сопротивления фанеры растяжению из плоскости листа.

Ключевые слова: клеефанерные конструкции, напряженно-деформированное состояние, расчетные сопротивления фанеры, анизотропия прочности.

В мировой практике строительства возрастает интерес к клееным деревянным конструкциям. Наиболее прогрессивными являются клеефанерные конструкции (КФК). Несущие КФК обычно состоят из дощатых поясов и фанерных стенок, подкрепленных ребрами жесткости. Массивные пояса удалены от нейтральной оси и работают в состоянии практически одноосного сжатия (растяжения), поэтому в таких конструкциях хорошо реализуется принцип концентрации материала, сформулированный Н.С. Стрелецким. Так как расчетное сопротивление фанеры на срез примерно в 4 раза больше прочности древесины на скалывание вдоль волокон, толщина стенок может быть минимальной. Поэтому КФК являются тонкостенными конструкциями, а поперечное сечение их обычно имеет двутавровую, коробчатую или двутаврово-коробчатую форму. При одном и том же моменте сопротивления площадь, например, клеефанерных балок в среднем на 40 % меньше, чем клеедощатых.

Экспериментально-теоретические исследования КФК ведутся в СПбГАСУ (ЛИСИ) с 1965 г. При испытании клеефанерных рам, отдельных их узлов и балок с двумя или тремя стенками нередко разрушение конст-



рукций начиналось с выпучивания фанерных стенок и последующего отрыва фанеры от поясов по клеевым швам в основном между слоями шпона (рис. 1.). Разрушение зоны приклеивания поясов к стенкам происходило, когда касательные напряжения в швах незначительно превышали расчетные сопротивления скалыванию между слоями шпона [5, 6].

Подобный характер разрушения клеефанерных балок описан в работе Л.И. Григорьевой [2]. Здесь, при испытании балок двутаврового сечения, разрушение нередко сопровождалось расслоением фанеры в зоне верхнего пояса вблизи опоры.

Разрушение фанерной стенки от расслоения шпона со скалыванием является характерным для клеефанерных балок.

Рис. 1. Особенность разрушения фанерных стенок в КФК

Традиционный расчет этих конструкций включает проверку касательных напряжений между слоями шпона фанеры в зоне приклейки поясов. Очевидно, что такой проверки недостаточно. По нашему мнению, причиной разрушения в указанных клеевых швах являются не только касательные напряжения.

Преждевременное разрушение фанерной стенки в КФК всегда наступает в зоне со сложным напряженно-деформированным состоянием (НДС). Для балок и рам опорная зона характерна тем, что здесь действуют нормальные напряжения от изгибающего момента, касательные напряжения от поперечной силы, а также местные нормальные напряжения от поперечной опорной реакции и возможной сосредоточенной полезной нагрузки (например, от прогонов).

Примем следующую ориентацию осей координат: ось X (как обычно) направим вдоль балки, ось Y – нормально к оси X в срединной плоскости балки, параллельной плоскостям фанерных стенок, ось Z – перпендикулярно этим плоскостям.

Расслоение фанеры можно объяснить наличием деформаций и напряжений, действующих в фанерной стенке не только по осям X и Y , но и вдоль оси Z . Так как нагрузки и опорные реакции, действующие на балку, расположены только в плоскости XY (по оси Z нагрузки не действуют), деформации вдоль оси Z являются поперечными при продольных усилиях по осям X , Y и в первом приближении могут быть определены через коэффициент Пуассона. Эти деформации можно объяснить свойством твердых тел деформироваться не только в направлении приложенных сил, но и в поперечных направлениях. Интересующие нас деформации растяжения фанеры по оси Z будут максимальными при сжатии по осям X и Y . В этом состоянии находится фанерная стенка в зоне верхнего пояса, где двухосное сжатие в плоскости XY обеспечено напряжениями σ_x и σ_y .

Нормальное напряжение при изгибе σ_x достигает наибольшей величины на кромках верхнего и нижнего поясов балки.

Напряжение σ_y – это местное нормальное напряжение от нагрузки, непосредственно приложенной к балке. Если нагрузка на балку передается через прогоны, т. е. в виде сосредоточенных сил, то точки приложения этих

сил будут точками концентрации напряжения σ_y . В настоящее время нормальные напряжения σ_y в расчете клефанерных балок не учитывают. Если балка нагружена сосредоточенными силами, то рекомендуется устанавливать их над ребрами жесткости. Можно предположить, что ребра жесткости полностью воспринимают напряжения σ_y . Однако это утверждение не совсем верно.

На рис. 2 изображен верхний пояс клефанерной балки с приложенной нагрузкой P .

Рассмотрим точку А, она находится в зоне контакта верхнего пояса и ребра жесткости. В продольном сечении по зоне контакта (1-1) из всех элементов непрерывной является только фанерная стенка. В месте стыковки ребра жесткости и пояса обеспечить плотный контакт довольно трудно. Для этого необходимо заполнить безусадочным клеем зону контакта ребра жест-

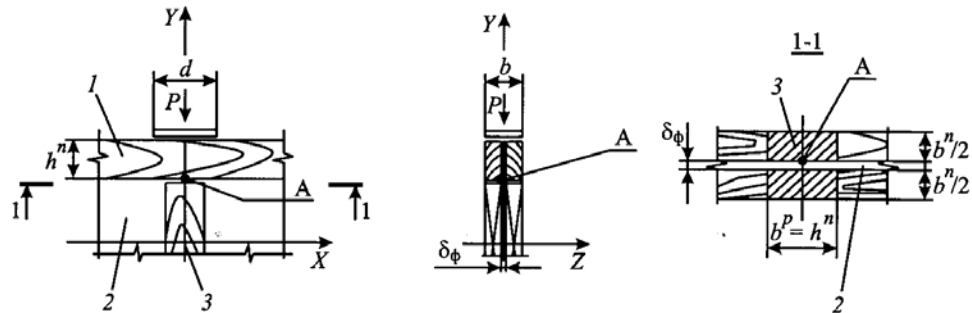


Рис. 2. Фрагмент верхнего пояса клефанерной балки с приложенной сосредоточенной нагрузкой P

кости и пояса, но при изготовлении КФК это не выполняется. Если даже обеспечить плотный контакт в указанном стыке, напряжения в точке А распределяются между элементами сечения пропорционально жесткостям материалов.

Древесина поясов в точке А работает на смятие поперек волокон, фанера – на сжатие поперек волокон наружных слоев. Как известно, при определении напряжения в КФК необходимо рассматривать приведенные характеристики сечения. Для нахождения напряжения σ_y удобно использовать приведенную ширину сечения. Ширину сечения 1-1, приведенную к фанере $b^{пр.ф}$, определяют по формуле

$$b^{пр.ф} = \sum \delta_{\phi} + b_n \frac{E_{д90}}{E_{ф90}}, \quad (1)$$

где δ_{ϕ} – см. рис. 2;

$E_{д90}$ – модуль упругости древесины поперек волокон, $E_{д90} = 400$ МПа (по СНиП [7]);

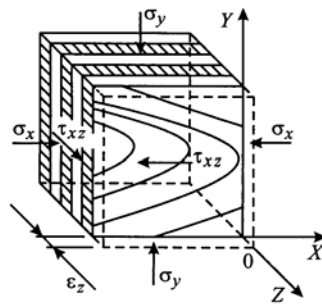
$E_{ф90}$ – модуль упругости фанеры в направлении поперек волокон наружных слоев, $E_{ф90} = 6000$ МПа (по СНиП [7]).

Жесткость фанеры в направлении поперек волокон наружных слоев в 15 раз больше, чем древесины поперек волокон. Это объясняется ее структурой (перекрестным расположением слоев шпона). Верхний пояс балки – это система, состоящая из материалов с разными модулями упругости, деформация их одинакова, поэтому напряжение в более жестком материале будет существенно больше.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что нормальные напряжения σ_y в клефанерных балках в зоне, ограниченной высотой пояса (от верха (или низа) балки до начала ребра жесткости), воспринимаются в основном фанерной стенкой. Фанера оказывается в состоянии сжатия не только по оси X , но и по оси Y .

НДС фанерной стенки в точке А, расположенной в зоне контакта верхнего пояса и ребра жесткости, показано на рис. 3.

Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние фанерной стенки в точке А



Фанера в точке А находится в состоянии двухосного сжатия по осям X и Y (напряжения σ_x , σ_y) и скалывания между слоями шпона (напряжение τ_{xz}).

Под действием продольного сжатия материал приобретает поперечные деформации

$$\varepsilon_z = -\mu_{xz} \frac{\sigma_x}{E_x} - \mu_{yz} \frac{\sigma_y}{E_y}. \quad (2)$$

Они могут приводить к расслоению фанеры, часто наблюдаемому при разрушении КФК. Для оценки опасности поперечных деформаций ε_z целесообразно выразить их через напряжения

$$\sigma_z = -\mu_{xz} \frac{E_z}{E_x} \sigma_x - \mu_{yz} \frac{E_z}{E_y} \sigma_y. \quad (3)$$

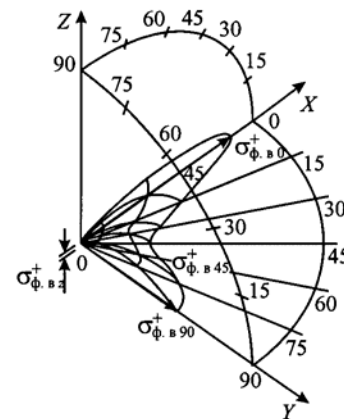
Величины модулей упругости E_x , E_y и E_z определены для фанеры. Для фанеры марки ФСФ по данным Е.К. Ашкенази [1] $E_x = 10900$ МПа, $E_y = 8700$ МПа. Величина модуля упругости E_z исследована в работе И.М. Гуськова (МИСИ) [4]: $E_z = 790$ МПа. Пользуясь результатами исследований И.М. Гуськова [3] можно косвенно оценить величины коэффициентов Пуассона в направлении из плоскости листа: в первом приближении: $\mu_{xz} = 0,59$; $\mu_{yz} = 0,43$.

После подстановки численных значений упругих характеристик выражение (3) примет следующий вид:

$$\sigma_z = -0,043\sigma_x - 0,039\sigma_y. \quad (4)$$

Величина напряжения σ_z очевидно мала. Однако следует помнить, что фанера является резко анизотропным материалом и, имея высокие прочностные характеристики в плоскости листа (X, Y), обладает малыми сопротивлениями в направлении из плоскости листа по оси Z . Главной особенностью расчета конструкций из сильно анизотропного материала является то, что одних проверок по максимальным напряжениям недостаточно. Более опасными часто оказываются напряжения меньшие по величине, но действующие в направлениях существенно меньшего сопротивления. Это наиболее важная черта конструкций из анизотропного материала всегда акценти-

Рис. 4. Предполагаемый вид поверхности анизотропии прочности фанеры на растяжение в полярных координатах



ровалась в работах кафедры конструкций из дерева и пластмасс СПбГАСУ (ЛИСИ).

Основная проблема, возникающая при оценке опасности растягивающего напряжения σ_z , – отсутствие в нормативной литературе характеристики расчетного сопротивления фанеры растяжению из плоскости листа. Очевидно только то, что величина этого сопротивления очень мала. Это объясняется тем, что древесина фанерного шпона в направлении из плоскости листа по оси Z практически всегда работает в радиальном направлении (учитывая технологию лущения шпона). Кроме того, характерно, особенно для толстого шпона, наличие трещин, образованных при лущении. Эти трещины часто не заполняются полностью клеем и уменьшают рабочую площадь плоскости отрыва (XU). Для производства фанеры характерна односторонняя намазка клеем листов шпона, что также является причиной непрочлея и неполного заполнения трещин шпона.

На рис. 4 изображена поверхность анизотропии прочности фанеры на растяжение в полярных координатах. Так как прочность фанеры на растяжение из плоскости листа неизвестна, но, исходя из свойств цельной дре-

веса, является малой величиной, на рис. 4 изображен скорее характер поверхности анизотропии прочности.

Как видно из рис. 4, в направлении оси Z (нормальное направление к плоскости листа) фанера обладает наименьшим сопротивлением. Это означает, что даже самые маленькие напряжения в этом направлении могут стать причиной разрушения конструкции.

Расслоение фанерной стенки опасно именно у опор, так как здесь, в зоне приклейки поясов, дополнительно действуют скалывающие напряжения между слоями шпона τ_{zx} . Таким образом, совместное действие отрыва со скалыванием – причина охарактеризованного выше разрушения фанерных стенок КФК. Именно отрыв, по нашему мнению, является решающим фактором при разрушении фанеры, когда напряжения скалывания, действующие в зоне приклейки поясов, даже не превышают расчетного сопротивления фанеры скалыванию между слоями шпона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ашкенази, Е.К.* Анизотропия конструкционных материалов [Текст]: справ. / Е.К. Ашкенази, Э.В. Ганов. – Л.: Машиностроение, 1980. – 247 с.
2. *Григорьева, Л.Н.* Напряженно-деформированное состояние опорной зоны клефанерной балки двутаврового сечения с параллельными поясами [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Григорьева Л.Н. – М., 1986. – 20 с.
3. *Гуськов, И.М.* Коэффициент поперечной деформации строительной фанеры, при сжатии равномерно распределенной нагрузкой, нормальной к плоскости листа [Текст] / И.М. Гуськов // Сб. тр. МИСИ. – 1971. – № 76. – С. 27–33.
4. *Гуськов, И.М.* Модуль упругости строительной фанеры при сжатии равномерно распределенной нагрузкой, нормальной к плоскости листа [Текст] / И.М. Гуськов // Сб. тр. МИСИ. – 1971. – № 76. – С. 17–27.
5. *Корзон, С.А.* Некоторые вопросы экспериментального исследования клефанерных балок [Текст] / С.А. Корзон, Е.И. Светозарова, Е.Н. Серов // Повышение надежности и долговечности строительных конструкций: межвуз. темат. науч.-техн. сб. / ЛИСИ. – Л., 1972. – № 2. – С. 85–92.
6. *Светозарова, Е.И.* Экспериментальное исследование узлов клефанерных рам, разработанных ЛИСИ [Текст] / Е.И. Светозарова, Е.Н. Серов // Конструкции с применением пластических масс: докл. XXIV науч. конф. / ЛИСИ. – Л., 1966. – С. 56–58.
7. СНиП II-25–80. Деревянные конструкции [Текст]. – М.: Стройиздат, 1982. – 66 с.

С.-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет

Поступила 27.03.06

E.N. Serov, S.A. Labutov

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Tension Distribution on Supports of Glue-Plywood Structure

Peculiarity of tension distribution in glue-plywood structures is considered, the necessity of lateral deformations assessment of plywood sheet lamination is pointed out, the necessity of studying the value of plywood resistance to extension from sheet plane is questioned.

Keywords: glue-plywood structures, tension-deformed state, design resistance of plywood, strength anisotropy.
