

Антюшеня О. А., студент,
Есипов С. М., студент,
Малыхина В. С., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ УЗЛОВ ЛИНЗОБРАЗНЫХ КЛЕЕДЕРЕВЯННЫХ ФЕРМ

kicon@bk.ru

В статье выделяются и описываются характерные особенности линзообразных ферм из LVL. Данная тема дополняется также сравнением некоторых вариантов конструктивного решения опорного узла и сопоставлением показателей наклонно вклеенных связей из стеклопластиковой и стальной арматуры.

Ключевые слова: линзообразная ферма, LVL, опорный узел, вклеенные стержни.

Общие сведения о деревянных линзообразных фермах

Применение деревянных конструкций при перекрытии большепролетных зданий стало возможно благодаря появлению нового конструктивного материала – клееного бруса из шпона LVL. С 2003 года в России запущено производство LVL. Технология изготовления сходна с технологией изготовления фанеры: лущеный шпон хвойных пород толщиной 2,5-3,2 мм склеивается фенолформальдегидной смолой в пакеты по 9-25 шт., однако в отличие от фане-

ры волокна смежных слоев располагаются параллельно. При этом прочностные характеристики по сравнению с цельной древесиной возрастают в среднем на 73%, а с клееной – на 70%. Поскольку LVL обладает оптимальным соотношением прочностных и весовых показателей (по сравнению с металлом и железобетоном), а также возможностью создания бруса неограниченной длины на его основе, целесообразно из данного материала проектировать несущие большепролетные конструкции.

Таблица 1

Сравнение расчетных сопротивлений цельной древесины, клееной древесины и LVL

№ п/п	Напряженное состояние	Расчетные сопротивления I сорта, МПа		
		древесина	клееная древесина	LVL
1	Изгиб	14-16	14-16	26
2	Растяжение вдоль волокон	10	12	20,5
3	Сжатие вдоль волокон	14-16	14-16	21
4	Сжатие поперек волокон	1,8	1,8	3,2
5	Смятие местное поперек волокон	3-4	3-4	5
6	Скалывание вдоль волокон	1,8	1,6	2,1-2,7

Одной из наиболее эффективных большепролетных конструкций покрытия является ферма с изогнутыми поясами, иначе линзообразная ферма. В СП64.13330.2011 впервые даны рекомендации по проектированию данных конструкций. Так, оптимальная высота фермы в середине пролета: $(1/9)L < H < (1/6)L$, высота на

опоре: $0,25H < h < 0,4H$ а возможная величина пролета: $18\text{м} < L < 100\text{м}$. Элементы решетки следует располагать под углом $30^\circ - 60^\circ$ к вертикали и крепить к поясам при помощи нагелей или на вклеенных стержнях. Дальнейший расчет и конструирование следует выполнять согласно своду правил.

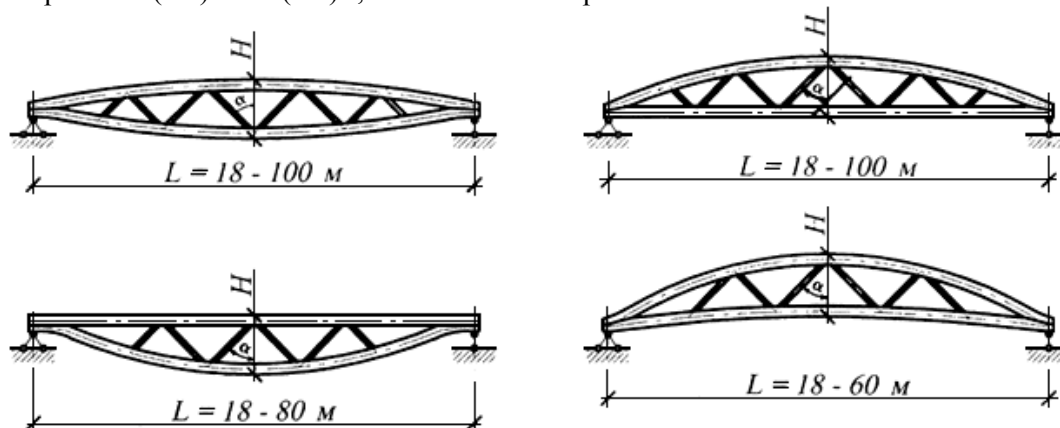


Рис. 1. Генеральные размеры и схемы линзообразных ферм

Значительный вклад в разработку и совершенствование конструкций линзообразных ферм внесли сотрудники ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, а именно С.Б. Турковский, А.А. Погорельцев, И.Л. Экнадосьян.

Особенности работы линзообразной фермы

По сравнению с традиционными видами ферм линзообразные обладают рядом особенностей и преимуществ. В виду минимального несоответствия формы поясов линзообразной фермы эпюре изгибающих моментов усилия в поясах практически постоянны по всему пролету. Нисходящие и восходящие раскосы слабо нагружены в условиях симметрично приложенной равномерно распределенной нагрузки, а в идеальной схеме – не работают, поэтому обычно принимаются конструктивно.

Фермы-линзы также удобны с точки зрения монтажа: центр тяжести конструкции, как правило, находится ниже уровня опор, что исключает необходимость использования дополнительных раскреплений. С помощью таких ферм можно решить проблему уменьшения внутреннего отапливаемого объема здания. В этом случае фермы могут явиться элементами сквозных

арочных конструкций. Поскольку в этих фермах отсутствуют открытые стальные элементы и LV-устойчив к любым химическим воздействиям, их могут также применять в зданиях с агрессивной средой.

В виду неразрезности поясов фермы в приопорных панелях имеется изгибающий момент. Данная проблема на стадии проектирования решается одним из двух способов: во-первых, за счет изменения очертания приопорных зон поясов, однако это не всегда оправдано с точки зрения архитектурного замысла. Во-вторых, путем учета жесткостных характеристик верхнего и нижнего поясов. Если рассматривать линзообразную ферму как статически неопределимую систему, соотношение жесткостей верхнего и нижнего поясов оказывает значительное влияние на распределение усилий в поясах фермы.

Опорный узел линзообразных ферм является наиболее нагруженным и ответственным (см. рис.2), т.к. воспринимает сжимающее усилие от верхнего пояса, растягивающее - от нижнего, сдвигающее, направленное горизонтально, как равнодействующее усилий поясов, а также опорное давление.

Геометрическая схема фермы Ф1



Рис. 2. Пример распределения усилий в стержнях линзообразной фермы

В качестве примера, иллюстрирующего сложность работы опорного узла конструкции, дана геометрическая схема фермы покрытия спортзала в г. Санкт-Петербург пролетом 63 м (рис.2). Опорный узел воспринимает усилие сжатия верхнего пояса - 810,5 кН, растяжения нижнего пояса – 800,4 кН, опорную реакцию фермы - 404кН, и сдвигающее усилие – равнодействующую усилий в поясах – 1610,9 кН. В данных условиях элементы связей должны быть рассчитаны и законструированы на восприятие всех нагрузок.

Варианты конструкции опорного узла

1) На клеенных стержнях (по системе ЦНИИСК)

Одним из вариантов конструкции опорного узла является использование клеенных металлических стержней. Исследования, проведенные Н.Д.Поспеловым (СоюзДорНИИ), Л.М.Ковальчуком, Н.Г.Зубаревым (ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко), Я.А.Дмитриевым (НИСИ), показали, что соединениям с клееными вдоль и поперек волокон связями свойственны следующие недостатки:

- высокая вероятность совпадения связи с торцовыми трещинами и расслоениями;
- зависимость прочности от наличия дефектов в одном-двух слоях с клееными связями внутри клееного пакета (сучки, шипы и пр.);

- высокая концентрация усилий именно в этих слоях;
- усложнение операции заполнения клеем при большой длине элементов.

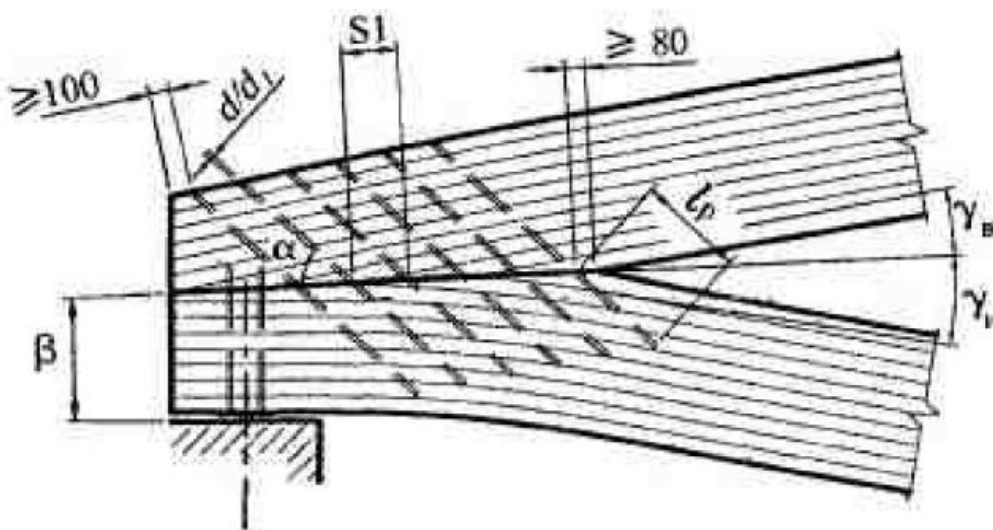


Рис. 3. Схема опорного узла линзообразной фермы, приведенная в СП64.13330.2011

Попытки повысить сдвиговую прочность и надежность конструкций привели конструкторов к идее располагать клеенные стержни под углом $30-45^\circ$ к направлению волокон. Такие соединения оказались лишенными перечисленных недостатков.

Таким образом, ЦНИИСК было принято решение о выполнении узлов соединения стержней линзообразных клеелесовянных ферм на наклонно клеенных связях.

Модернизация данного варианта решения узла заключается в применении стеклопластиковой стержневой арматуры. При этом можно получить следующие преимущества:

- уменьшение диаметра стержня при сохранении несущей способности за счет повышения расчетного сопротивления (в 1,7 раза), что дает возможность сократить количество стержней либо увеличить расчетную площадь сечения пояса;

- исключение коррозионных процессов;
- уменьшение дополнительных усилий, возникающих в зоне клеенного стержня, за счет снижения коэффициента теплового расширения (в 2 раза);

- улучшение совместной работы древесины пояса, эпоксидного клея и стеклопластикового стержня по поверхности контакта за счет схожести свойств (все материалы имеют органическую основу).

Недостатки приведенного варианта:

- отсутствие нормативной базы для применения композитной арматуры;

- возможность хрупкого разрушения из-за отсутствия площадки текучести;
- невозможность использования в качестве сжатой арматуры;
- неполная изученность свойств и малая практика использования подобных соединений.

Методика расчета и конструирования узла изложена в СП 64.13330.2011.

2) На металлических зубчатых пластинах (по системе «GANGNAIL»)

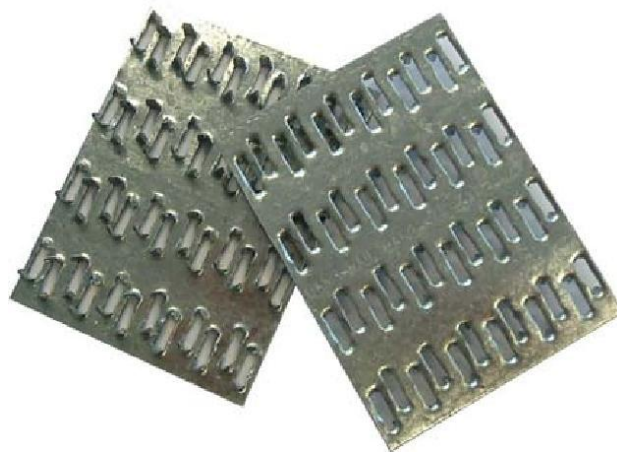


Рис. 4. Зубчатые пластины GANG NAIL

Система «GANGNAIL» - это крепежные элементы с шинами, предназначенные для соединения элементов деревянных конструкций, и основное сборочное оборудование. Сборочное оборудование представляет собой передвижной либо стационарный пресс типа Пресс-Матик с усилием до 55 тонн.

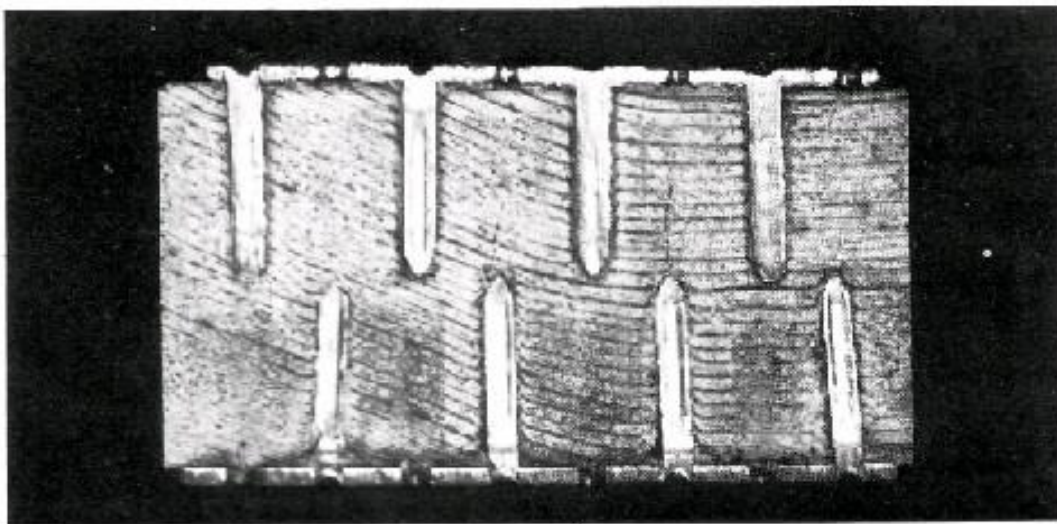


Рис. 5. Разрез по зубчатой пластине в рабочем состоянии

Достоинства данного конструктивного решения:

- высокое сопротивление выдергиванию и действию поперечных и срезающих усилий;
- отсутствие необходимости сверления и применения клеев;
- отсутствует повреждение волокон древесины за счет рациональной формы шипов.

Недостатки:

- необходимость применения крупногабаритного и тяжелого оборудования;

- подверженность коррозии открытых металлических элементов;

- снижение эффективности работы при увеличении ширины пояса фермы;
- низкая огнестойкость.

Расчет соединения на зубчатой пластине аналогичен расчету нагельного соединения на цилиндрических нагелях (СП 64.13330.2011, табл.20, рис.9,10).

Исходя из требуемого количества нагелей (шипов), по сортаменту подбирается оптимальная пластина.

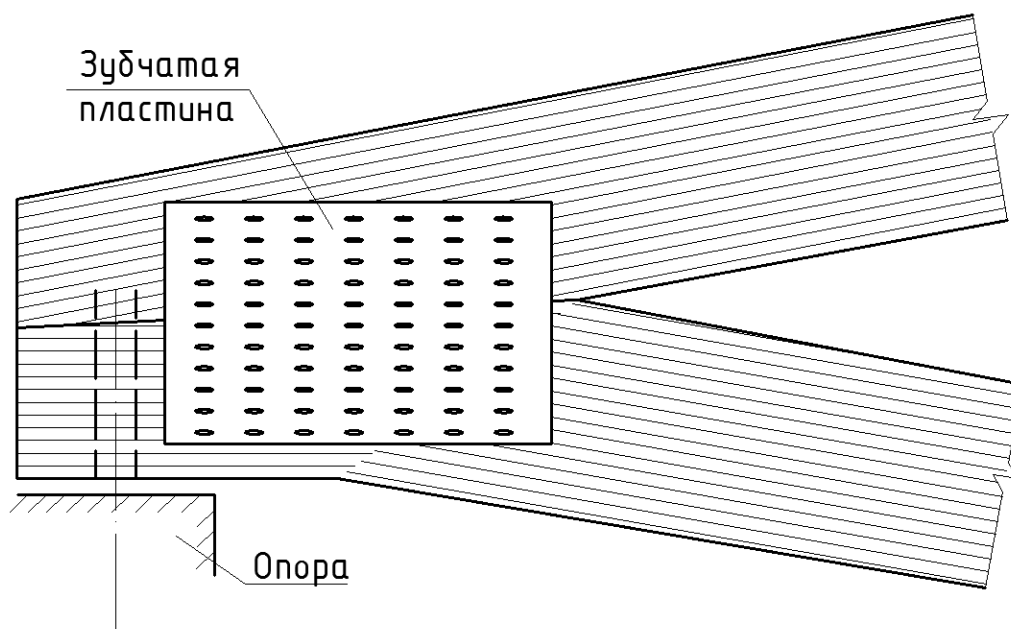


Рис. 6. Пример решения узла на зубчатой пластине

3) На клеенных стержнях, расположенных вдоль оси поясов

Данный вариант представляет собой модернизированный узел по системе ЦНИИСК, в котором стержни вклеивают вдоль оси каждого

пояса фермы. Такое решение было продиктовано желанием совместить ось стержня и линию действия усилия в поясе, с целью повышения эффективности работы узла.

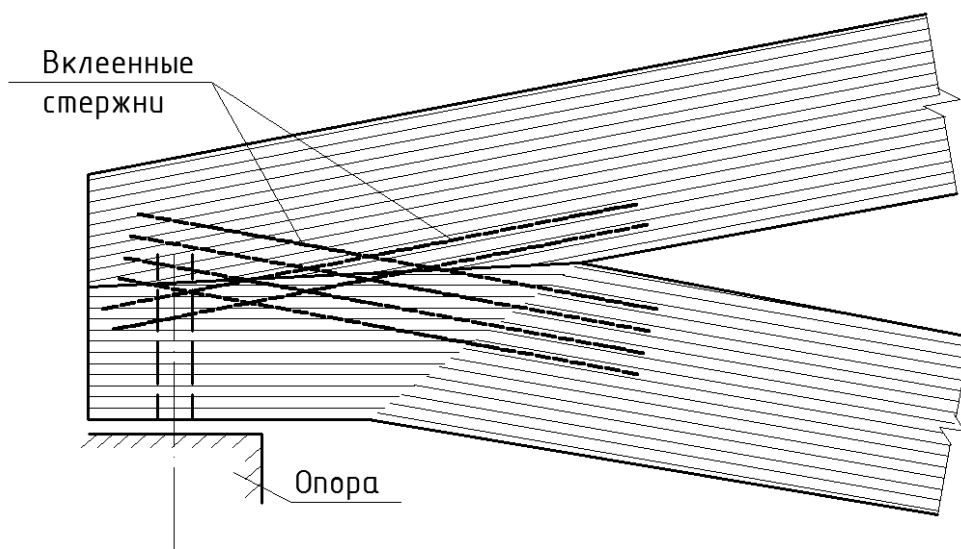


Рис. 7. Опорный узел на вклеенных стержнях

Достоинства:

- максимально эффективная работа стержня;
- не требуются громоздкие и тяжелые механизмы для выполнения.

Недостатки:

- при малых углах между поясами узел практически нереализуем;
- большая длина стержней;
- возникновение дополнительного изгибающего момента в опорной зоне из-за несовпа-

дения равнодействующей усилия в поясе и осей стержней;

- накладывание осей стержней друг на друга и как следствие необходимость разбежки стержней верхнего и нижнего поясов в двух плоскостях.

4) На нагелях со стальными накладками

Гладкие арматурные стержни, стягивающие металлические пластины, размещают поперек оси поясов. Нижние концы стержней приваривают к пластине, на верхние – наносят резьбу метчиком.

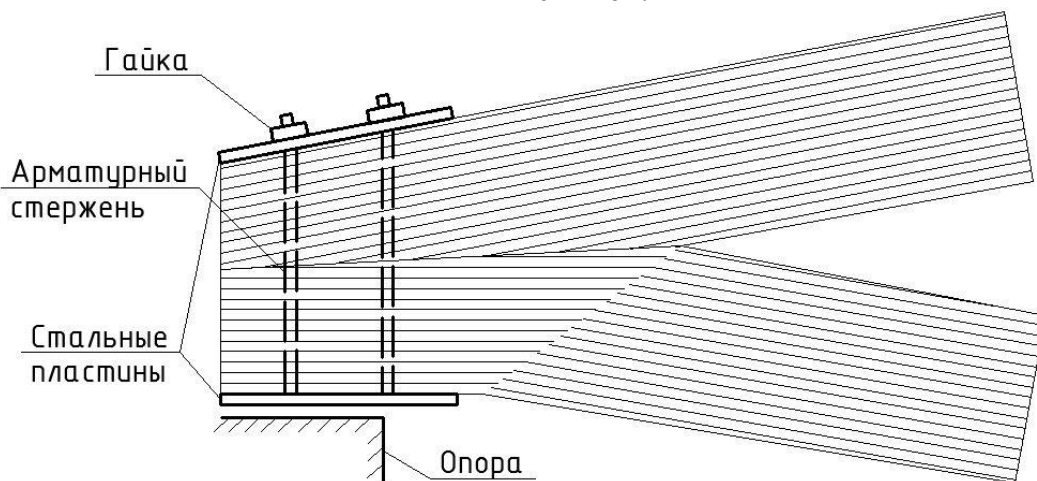


Рис.8. Опорный узел на нагелях

Достоинства:

- повышение несущей способности соединения.

Недостатки:

- сложность монтажа;
- неэффективность работы стержней по длине;
- вероятность скалывания при несоблюдении правил расстановки нагелей;

– возникновение дополнительных усилий в стержнях в виду не параллельности поясов фермы;

- подверженность коррозии открытых металлических элементов;
- большая длина стержней.

Таким образом, опорный узел линзообразной фермы может быть решен несколькими вариантами, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Инновации в сфере деревянных конструкций способствуют разра-

ботке новых более эффективных конструктивных решений улов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 64.13330.2011 (СНиП II-25-80 Актуализированная редакция). Деревянные конструкции. – Введ. 20.05.2011 // Свод правил / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. М., 2011. 92 с.
2. Турковский С. Б., Погорельцев А. А., Экнадосьян И. Л. Выбор конструктивной схемы линзообразных ферм из клееной древесины. //Строительные материалы. 2003. №5. С. 18-19.
3. Турковский С. Б., Погорельцев А. А. Создание деревянных конструкций системы ЦНИИСК на основе наклонно вклеенных стержней. // Промышленное и гражданское строительство. 2007. №3.С. 6-8.
4. Малыхина В. С. Конструкции из дерева и пластмасс: учеб. Пособие. 2-е изд., испр. и доп. Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. 226 с.