

Расчетное исследование параметров деформативности ферменных конструкций с применением древесины

Н.В. Линьков, А.А. Клюкин

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет; г. Москва, Россия

Аннотация: Определение деформативности несущих конструкций покрытия, в качестве показателя использования жесткости сечения элементов, является актуальной задачей, на решение которой направлена текущая работа. Цель статьи - сравнительный расчет конструкций каркаса в предположении различного решения фермы покрытия. Необходимо рассмотреть следующие типы несущих ферм покрытия: сегментная ферма, трапециевидная ферма, треугольная ферма. Приведен расчет каркасов с применением древесины в качестве несущих конструкций на суммарное действие постоянных и кратковременных нагрузок, вызывающие максимальные вертикальные деформации. В данной работе определены коэффициенты использования жесткости конструкций ферм с применением древесины и установлена зависимость показателя величины жесткости от типа очертания фермы покрытия. Сравнение результатов расчета с нормативными предельно-допустимыми величинами позволило установить наиболее эффективный тип очертания деревянной фермы покрытия.

Ключевые слова: ферма покрытия, модуль упругости, жесткость, верхний пояс, раскос, нижний пояс, расчетное исследование, сквозная конструкция, сегментная ферма.

Введение

Конструкции, состоящие из поясов и связывающих их решеток, называют сквозными [1]. Пояса в сквозных деревянных конструкциях могут состоять из одного или нескольких ветвей, которые, в свою очередь, могут быть цельного или составного сечения [2, 3]. В настоящий момент чаще используют клееный верхний пояс и металлический нижний. В отдаленных от производств районах целесообразно использовать составные конструкции поясов из цельной древесины. Соединение ветвей таких поясов производится при помощи металлических связей различной конфигурации. Укрупнительная сборка сквозных конструкций из цельной древесины может производиться непосредственно на стройплощадке. В осваиваемых районах возможность использования клееных сплошных конструкций крайне затруднено. Сплошные конструкции из цельной древесины в данном случае

нецелесообразны, ввиду малых пролетов и ограниченности сортамента пиломатериалов.

Решетка сквозных конструкций состоит из отдельных стержней - раскосов и стоек. Все элементы ферм при этом соединены между собой шарнирно. Применение решетки вместо сплошной стенки уменьшает расход материала на конструкцию и позволяет проектировать конструкции с повышенными геометрическими характеристиками. Однако в отличие от сплошных плоскостных конструкций в сквозных имеются узловые соединения элементов решетки между собой и с поясами, требующие специальных средств соединения. Этот фактор необходимо учитывать при вариантном проектировании.

В современном строительстве наиболее широко применяют фермы сегментные с криволинейным клееным верхним поясом, многоугольные и треугольные. В некоторых случаях, например, для покрытия многопролетных промышленных зданий, рациональны трапециевидные, односкатные и двухскатные фермы. Данный тип сквозных конструкций имеет преимущество перед конструкциями сплошного сечения особенно при пролетах более 15 м. Особенно по сравнению с балочными конструкциями различного очертания (балки с параллельными кромками, односкатные, двускатные, двутавровые). Шаг ферм обычно принимают от 3 до 6 метров в зависимости от типоразмера ограждающих конструкций или панелей, пролет от 15 до 40 метров соответственно.

Для оценки деформативности конструкций покрытия и сравнения расчетных прогибов ферменных конструкций с предельно-допустимыми значениями необходимо рассмотреть следующие типы несущих конструкций покрытия: сегментная ферма, трапециевидная ферма, треугольная ферма. Пролет ферм во всех трех случаях составил 18 метров. Высота фермы в зависимости от очертания лежит в пределах от 3 до 4.5 метров. Шаг рам по

длине здания составляет 6 метров. Для деревянных конструкций было назначено поперечное сечение 150x200 мм. Модуль упругости [4, 5] составил $E_{др}=10^4$ МПа. Было сформировано четыре загрузки [6], которые соответствуют реальной работе конструкции в составе несущего каркаса: собственный вес несущих деревянных конструкций, вес деревянных конструкций покрытия, вес ограждающей части покрытия, нагрузка от веса снега. Было сформировано пользовательское сочетание для оценки деформаций от действия нормативных значений нагрузок. Общий вид расчетных сем представлен на рис.1.

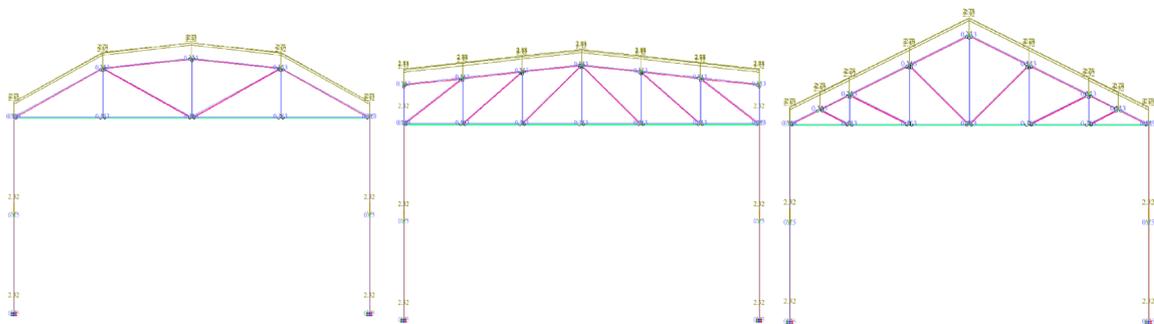


Рис. 1. – Общий вид расчетных схем

Материалы и методы

Элементы конструкций рассчитывают по методу предельных состояний. Предельным называется такое состояние конструкции, за пределами которого дальнейшая эксплуатация ее ограничена или вовсе невозможна. Для конструкций из дерева и пластмасс имеют значение два вида предельных состояний: по несущей способности, по деформациям. Основное свойство, определяющее пригодность к эксплуатации конструкций из дерева и пластмасс, является безотказность их работы. Безотказность работы – способность сохранять заданные эксплуатационные качества в течение всего срока службы несущего каркаса.

Вторая группа включает предельные состояния, затрудняющие нормальную эксплуатацию конструкций из дерева и пластмасс, или

снижающая долговечность конструкций из дерева и пластмасс по сравнению с проектным сроком службы. Предельные состояния второй группы определяются достижением предельных деформаций [7] соединениями элементов КДиП, предельных прогибов деревянных конструкций [8], потерей устойчивости формы, приводящей к затруднению нормальной эксплуатации. Эти факторы требуют временного ограничения эксплуатации объектов с деревянными конструкциями до устранения данных проблем, вплоть до усиления несущих элементов.

В качестве предельно-допустимой величины назначим величину $[f]=(1/300)L=60$ мм. Данный прогиб соответствует предельно-допустимой величине деревянных балок применяемых в покрытиях. Превышение предельных величин вертикальных деформаций рассматриваемых конструкций может привести к разрушению внутренних элементов и различных систем здания. Таких как коробов вентиляции, трубопроводов, систем освещения и т.д. Особые требования к прогибам несущих конструкций необходимо предъявлять к зданиям с кранами. Игнорирование значительных деформаций может привести к столкновению крана и элементов несущих конструкций.

В результате расчета были получены величины вертикальных деформаций узлов конструкций ферм. Деформации от нормативных нагрузок составили 23, 21 и 27 мм соответственно. Общий вид рам каркаса по результатам расчета представлен на рис. 2. Численные результаты расчета приведены в таблице 1.

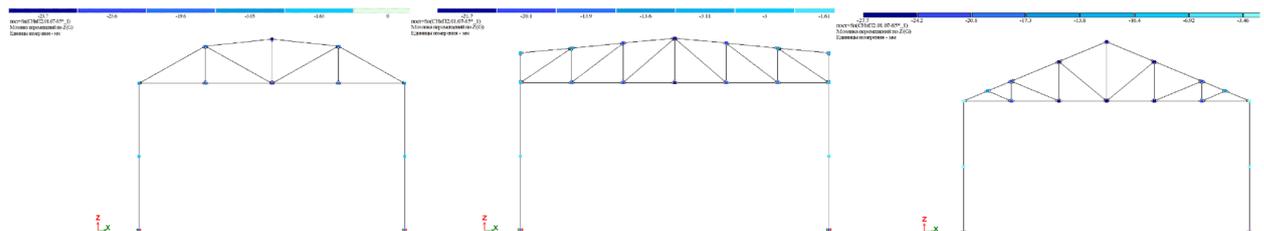


Рис. 2. – Результат расчета ферменных конструкций

Таблица № 1

Расчетные значения вертикальных прогибов

№ п.п.	Наименование	Обозначение	Величина	Ед.изм.
1	Прогиб сегментной фермы	$f_{\text{сегм}}^{\text{ферм}}$	23,7	мм
2	Прогиб трапециевидной фермы	$f_{\text{трапец}}^{\text{ферм}}$	21,7	мм
3	Прогиб треугольной фермы	$f_{\text{треуг}}^{\text{ферм}}$	27,7	мм
4	Предельно-допустимый прогиб для конструкции ферм из условия $(1/300)*L$	[f]	60	мм
5	Коэффициент использования жесткости сечения ферменных конструкций	$f_{\text{сегм}}^{\text{ферм}} / [f]$	0,40	-
6		$f_{\text{трапец}}^{\text{ферм}} / [f]$	0,36	-
7		$f_{\text{треуг}}^{\text{ферм}} / [f]$	0,46	-

Результаты исследования

Деформации сквозных конструкций являются следствием не только упругих деформаций элементов и соединений в узлах и стыках, но и рыхлых деформаций, например от неплотностей в соединениях при их изготовлении и монтаже. Кроме того, с течением времени возникают деформации последствия, существенно увеличивающие общие деформации конструкций. Увеличение прогибов происходит преимущественно в первые два-три года эксплуатации, когда древесина еще не достигла равновесной влажности и когда покрытие в первый раз загружается полной нагрузкой. В последующие годы в нормально работающих конструкциях приращение прогиба, как правило, невелико. Испытания деревянных ферм кратковременной нагрузкой показали, что прогиб их под нормативной нагрузкой составляет 1/1000 — 1/1250, а перед разрушением 1/200 — 1/300 пролета.

Расчетные значения вертикальных деформаций представлены в таблице 1. Для оценки коэффициента запаса жесткости ферменных конструкций используем критерий предельно-допустимого прогиба для деревянных конструкций покрытия. Из таблицы видим, что деформативность ферменных конструкций не превышает предельно-допустимой величины в 60 мм. При этом коэффициент запаса жесткости ферменных конструкций составляет 60%, 66%, 54%. Хотя для деревянных конструкций принято считать определяющим именно первое предельное состояние, при определенных условиях на первый план может выйти расчет по деформациям. Это явление может проявиться, например, при использовании древесины первого сорта.

Выводы

Были замоделированы и выполнен расчет сегментной, трапециевидной и треугольной ферм пролетом 18 метров. На конструкции покрытия в процессе расчета были учтены нормативные [9] значения нагрузок от собственного веса деревянных несущих и ограждающих конструкций, покрытия, снегового давления. Для сегментной фермы получено значение максимальных вертикальных перемещений 23,7 мм. Для трапециевидной фермы получено значение максимальных вертикальных перемещений 21,7 мм. Для треугольной фермы получено значение максимальных вертикальных перемещений 27,7 мм. Предельно-допустимое значение представлено условием $[f]=(1/300)L=60$ мм. Процент использования жесткости сечения ферменных конструкций составил 40%, 36%, 46%, что является значительным предварительным запасом конструкций покрытия в рамках критерия пригодности к нормальной эксплуатации [10] от нормативных значений нагрузок.

Литература

1. Пятикрестовский К.П. О проектировании рациональных деревянных конструкций из цельной древесины // Строительная механика и расчет сооружений. – 2016, № 6 (269). С. 63-69.

2. Walford G. Bryan. Tests on nailed and glued layered timber cylindrical shells. ASCE J Struct Div. Vol. 106. 1980. pp. 247-263.

3. Stern E. George. Nailed Fitch beams and griders providing opportunities in wood construction. // Virginia Polytechnic Institute & State University Department. VA, USA. 1982. pp. 55-64.

4. Погорельцев А.А. Порядок назначения расчетных сопротивлений древесины в СП 64.13330.2017 "Деревянные конструкции" // Вестник НИЦ Строительство. 2019. № 2 (21). С. 114-126.

5. Жаданов В.И., Аркаев М.А., Котлов В.Г. Экспериментальные исследования деревянных балок, усиленных витыми крестообразными стержнями. // Промышленное и гражданское строительство. М.: 2017. № 11. С. 5-11.

6. Найчук А.Я., Погорельцев А.А., Серов Е.Н. Теория и практика дальнейшего развития деревянных конструкций. Часть 1. Нагрузки, расчетные сопротивления и длительная прочность древесины. // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 6. С. 38-44.

7. Арленинов Д.К. О новом нормативном значении модуля упругости древесины. Промышленное и гражданское строительство. 2013. №3. С. 19-20.

8. Арленинов Д.К. Расчетная оценка прогибов деревянных балок при длительной нагрузке // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 11. С. 40-41.

9. Василькин А.А., Рахронов Э.К. Системотехника оптимального проектирования элементов строительных конструкций // Инженерный вестник Дона. 2013, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2203



10. Стяпин Р.А. Унификация изгибаемых клееных деревянных конструкций по принципу подобия // Инженерный вестник Дона. 2013. №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1608

References

1. Pyatikrestovskij K.P. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. 2016, № 6 (269). pp. 63-69.
2. Walford G. Bryan. Tests on nailed and glued layered timber cylindrical shells. ASCE J Struct Div. Vol. 106. 1980. pp. 247-263.
3. Stern E. George. Virginia Polytechnic Institute & State University Department. VA, USA. 1982. pp. 55-64.
4. Pogorel'cev A.A. Vestnik NIC Stroitel'stvo. 2019. № 2 (21). Pp. 114-126.
5. Zhadanov V.I., Arkaev M.A., Kotlov V.G. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. M.: 2017. № 11. pp. 5-11.
6. Naychuk A.YA., Pogoreltsev A.A., Serov Ye. N. Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2018. № 6. pp. 38-44.
7. Arleninov D.K. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2013. №3. pp. 19-20.
8. Arleninov D.K. Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2012. № 11. pp. 40-41.
9. Vasil'kin A.A., Rakhmonov E.K. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2203
10. Styapin R.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1608

Дата поступления: 15.12.2024

Дата публикации: 26.01.2025