

ЛЮБОВЬ ФЕДОРОВНА СЕЛЮТИНА

кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры, строительных конструкций и геотехники строительного факультета ПетрГУ

selutinalf@mail.ru

ВИТАЛИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ КОРНИЛОВ

инженер ООО «Проект Финанс», г. Петрозаводск

os05@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ ДОЩАТЫХ ФЕРМ С ПОДАТЛИВЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

В статье представлены результаты исследований дощатых ферм с соединениями на металлических зубчатых пластинах. Исследования выполнены с помощью программного комплекса SCAD и разработанной программы. Изучено влияние факторов: высоты поперечного сечения элементов решетки; формы решетки; высоты фермы.

Ключевые слова: фермы, соединения, металлические зубчатые пластины

ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени в мире известно свыше 100 конструкций металлических зубчатых пластин (МЗП), используемых в узловых соединениях деревянных конструкций («Аппард», МЗП-1,2, МЗП-2, MiTek и др.). Применение МЗП в большепролетных деревянных конструкциях позволяет реализовать следующие преимущества:

- несложный фундамент – легкие деревянные конструкции не требуют массивных фундаментов, таких как, например, железобетонные конструкции;
- удовлетворительные противопожарные качества и коррозионная стойкость;
- быстрый и несложный монтаж, который в большинстве случаев не нуждается в применении средств тяжелой механизации;
- перекрытие зданий больших пролетов без внутренних опор;
- легкий и экономичный монтаж систем отопления, электро- и сантехнического оборудования, климатических систем;

- незначительные расходы по восстановлению защитных покрытий деревянных конструкций при эксплуатации зданий;
- для возведения зданий не требуется привлечения высококвалифицированного рабочего персонала.

Главной особенностью выпускаемых конструкций является их относительно невысокая цена при высоком качестве. Низкий уровень цен достигается малыми расходами на изготовление конструкций (как по материальным, энергетическим, так и по людским ресурсам). Типы производимых ферм представлены на рис. 1.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА

Соединения дощатых конструкций на металлических зубчатых пластинах обладают повышенной деформативностью. Отечественные нормы [5], [6] недостаточно полно описывают расчет данного вида соединений, где они приводятся к нагельным. При использовании рекомендаций норм [5], [6] расчетные значения прогибов (перемещений узлов) превышают экс-

периментальные. Расчет фермы на МЗП как шарнирно-стержневой системы дает заниженные значения прогибов.

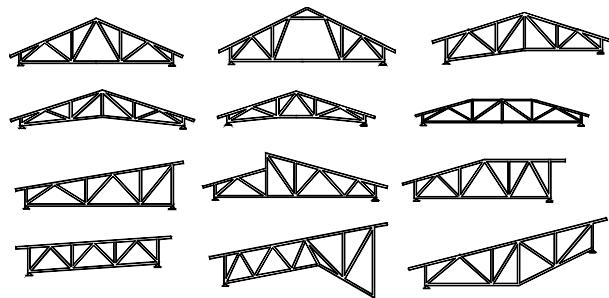


Рис. 1. Типы производимых ферм

Авторы статей [1], [8] о расчетах конструкций с податливыми соединениями предлагают в качестве расчетного программного комплекса использовать COSMOS/M Designer. На основании экспериментов исследователи делают вывод, что наиболее подходящим является использование конечного элемента с упруго-зашемленными концами [3] (рис. 2).

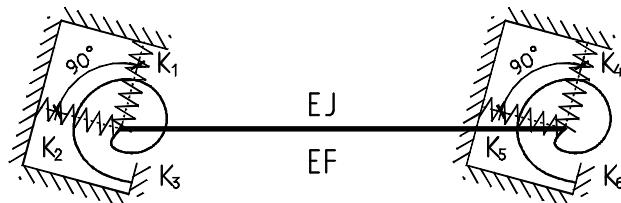


Рис. 2. Конечный элемент с упруго-податливыми опорами

Коэффициенты упругого защемления предлагаются определять из испытаний образцов на чистый изгиб и центральное растяжение. После статистической обработки полученных экспериментальных данных строятся соответствующие функциональные зависимости, позволяющие определять линейную и угловую податливости.

В настоящее время выпускаются МЗП разнообразных конструкций. Переменными параметрами МЗП являются: длина зуба, количество зубьев на единицу площади, форма зуба, направление зубьев к оси пластины и т. д. Все эти конструктивные особенности МЗП оказывают влияние на деформативность соединения (происходит смятие древесины, упругие и пластические деформации зубьев, вырывание зубьев из толщи древесины при нагружении). При испытании образцов на растяжение и изгиб можно построить функциональные зависимости лишь для определенного типа пластины (МЗП-1,2, МЗП-2, «Аппард» и т. д.) и применять эти результаты при расчетах ферм по второй группе предельных состояний.

Расчет сквозных деревянных конструкций по второй группе предельных состояний выполняют в следующем порядке: 1) назначают размеры сечений элементов фермы; 2) определяют схемы

загружений постоянной и временной нагрузками, 3) вычисляют нагрузки и усилия; 4) определяют прогибы; 5) сравнивают расчетные значения перемещений узлов с предельными по СНиП [7]; 6) принимают решение о расчете по первой группе предельных состояний (проверка прочности элементов фермы, определение размеров пластин) или об изменении расчетных параметров: пролета, шага ферм, размеров поперечных сечений досок для поясов и элементов решетки.

При расчете фермы по деформациям неизвестны площади металлических зубчатых пластин, перекрывающих соединения элементов фермы, а следовательно, неизвестны и податливости узлов. При первоначальном расчете можно использовать только предельные значения податливостей, допускаемые в данном виде соединений. После расчета узлов (определения площадей МЗП) можно произвести расчет с использованием податливостей, вычисленных для каждого узла, в зависимости от площади и расположения пластины. Но такой подход является нерациональным, так как в силу ряда причин прогиб может оставаться прежним (превышающим предельно допустимый), и расчеты окажутся напрасными.

Моделирование действительной работы МЗП в соединениях является весьма трудоемкой задачей, интересной, наверное, только ученым. Инженеру-проектировщику необходим достаточно простой и при этом обеспечивающий приемлемую точность результатов метод расчета. Поэтому при проектировании и расчете конструкций на МЗП могут осуществляться два подхода:

1. Расчет с помощью программных средств, поставляемых производителями оборудования и расходных материалов для производства конструкций на МЗП;
2. Расчет с помощью программных средств промышленного использования, основанных на методе конечных элементов.

В первом подходе используются программы, основанные на экспериментальных данных о работе конструкций и соединений. Если поставщики находятся за границей, также используются нормативные документы (регламенты, рекомендации) зарубежных стран, несертифицированные в установленном порядке на территории Российской Федерации, что ставит под сомнение использование такого рода программных продуктов с точки зрения законодательства. Однако с точки зрения потребителя конструкции, запроектированные с использованием таких программ, будут обладать требуемыми эксплуатационными качествами и соответствовать своему функциональному назначению.

При втором подходе можно варьировать расчетную схему, учитывать неразрезность элементов поясов и податливости соединений, тем самым приближая расчетную схему к действительной работе конструкции. Далее в исследованиях будет использован второй подход.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАСЧЕТУ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ УЗЛОВ ФЕРМЫ

Как показали экспериментальные исследования дощатых ферм с соединениями на МЗП [4], при расчете в соответствии с требованиями норм теоретические значения прогибов фермы превышают опытные примерно в два раза.

В ходе численного эксперимента, проведенного с применением конечно-элементного комплекса SCAD, податливость моделировалась введением в элементы решетки фермы конечно-го элемента № 55 (упругой связи). Жесткость связи задавалась в зависимости от усилий в стержне. Жесткость – это реакция связи при единичном смещении. Если деформация податливости равна $t = 2$ мм, а усилие в стержне $N = 80,2$ кН, то жесткость равна $80,2/2 = 40,1$ кН/мм. Жесткости по осям X и Y задавались одинаковыми. При использовании указанных предпосылок расчета получено, что при податливости соединения 0,8 мм разница между опытными и теоретическими прогибами составляет 5 %. Окно ввода параметров упругой связи показано на рис. 3, окно запроса параметров – на рис. 4.

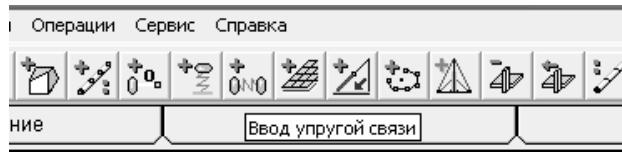


Рис. 3. Ввод данных об упругой связи



Рис. 4. Окно запроса параметров

Особенностью системы SCAD является то, что жесткости связей можно задавать в направлении глобальных осей X, Y и Z, поэтому при моделировании деформации податливости жесткости связей для плоских конструкций (в плоскости XoZ) заданы одинаковыми по осям X и Z. Так как суммарное смещение узла находится как геометрическая сумма смещений по осям X и Z, можно записать:

$$\Delta x = K * N * \cos \alpha ;$$

$$\Delta y = K * N * \sin \alpha ,$$

где Δx , Δy – смещения по соответствующим осям; N – усилие в стержне.

Суммарное перемещение находим по теореме Пифагора:

$$\Delta = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \sqrt{(K * N * \cos \alpha)^2 + (K * N * \sin \alpha)^2} =$$

$$= N * K \sqrt{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = N * K.$$

Итак, перемещение узла равно $N * K$.

В качестве иллюстрации рассмотрим пример расчета. Расчет перемещений узлов фермы треугольного очертания пролетом 11,7 м был выполнен методом конечных элементов при следующих допущениях:

1. Учитывается только линейная податливость соединений;
2. Верхний и нижний пояс в расчете являются неразрезными;
3. Предельная деформация соединения для стоек и раскосов равна 0,8 мм;
4. Модуль упругости древесины принят равным $E' = 300R_c$ (для нижнего пояса $R_c = 15$ МПа – 1-й сорт; для верхнего пояса и элементов решетки $R_c = 13$ МПа – 2-й сорт);
5. Сечение элементов поясов – 175 x 55 мм;
6. Сечение элементов решетки – 125 x 55 мм.

Схема деформаций узлов фермы представлена на рис. 5. Значения перемещений узлов – в табл. 1.

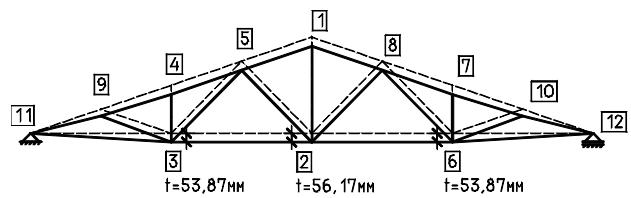


Рис. 5. Схема деформаций фермы

Таблица 1
Теоретические и опытные
перемещения узлов

№ узла	Перемещения, мм		Погрешность, %
	теоретические	экспериментальные	
3	53,87	51	5,3
2	56,17	53,5	4,8
6	53,87	51	5,3

Программа расчета прогибов дощатых конструкций с соединениями на МЗП разработана на языке программирования Delphi 7.0 [2], [9].

Программа позволяет: определять усилия в стержнях от расчетных и нормативных нагрузок, перемещения узлов фермы, расход древесины на ферму; сравнивать значения прогибов с предельными по СНиП [7]; выводить результаты расчета в форме протокола с отображением расчетной и деформированной схем фермы.

В интерфейсе программы реализован выбор 12 видов решеток; схемы загружений снеговой нагрузкой приняты по СНиП «Нагрузки и воздействия» [7]. Пользователь может задавать различные значения податливости соединений, выбирать условия эксплуатации конструкции, ха-

рактеристики элементов фермы, назначать места соединений досок поясов в соответствии с длиной пиломатериалов.

Программа определяет перемещения узлов по формуле Мора.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММЫ

Разработанная программа позволила выполнить исследования влияния различных факторов на перемещения узлов с податливыми связями.

1. *Влияние высоты сечения элементов решетки.* Высота сечения элементов решетки назначалась в соответствии с конструктивными требованиями для крепления зубчатых пластин.

На рис. 6 представлена схема фермы с раскосной формой решетки и перемещения узлов. Исходные данные: пролет фермы – 9500 мм; высота фермы – 2000 мм; ширина сечения элементов фермы – 60 мм; высота сечения поясов – 175 мм, элементов решетки – 125 мм. Верхний пояс и элементы решетки запроектированы из древесины хвойных пород 2-го сорта, нижний пояс – из древесины 1-го сорта. Постоянная нагрузка по верхнему поясу – 3 кН/м.

Геометрическая схема фермы

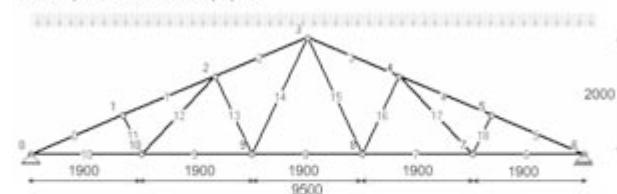


Схема деформаций фермы



Рис. 6. Ферма с треугольной решеткой

Исследования показали, что применение для решетки досок с высотой сечения, превышающей высоту поперечного сечения досок поясов, нецелесообразно, так как это ведет к увеличению расхода древесины (табл. 2).

Таблица 2

Результаты исследования влияния высоты сечения элементов решетки

Высота сечения решетки	Расход древесины на ферму, м ³	Перемещение узла нижнего пояса, мм	Предельный прогиб, мм	Превышение предельного прогиба, %
85	0,299	41,84	41,45	0,93
100	0,312	41,65	41,45	0,48
125	0,332	41,44	41,45	–
175	0,374	41,19	41,45	–
250	0,436	41,01	41,45	–

При увеличении высоты сечения прогиб уменьшается по линейной зависимости, в то время как расход древесины увеличивается нелинейно.

2. *Влияние высоты фермы на перемещения узлов.*

Исследовались фермы треугольного очертания с различными углами наклона верхнего пояса. Критериями оценки явилось выполнение требований 2-й группы предельных состояний и минимальный расход древесины. Результаты исследований представлены на рис. 7.

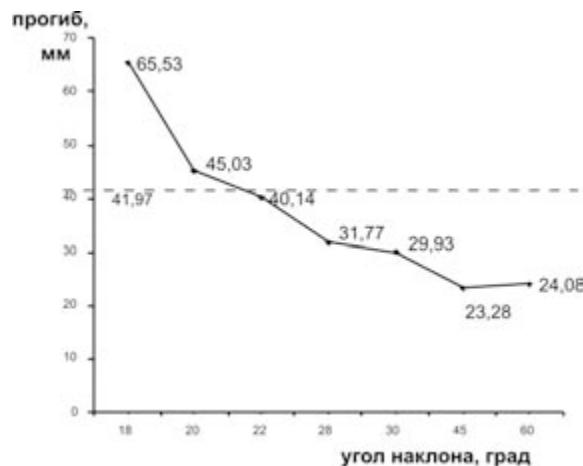


Рис. 7. Зависимость перемещений узлов нижнего пояса от угла наклона верхнего пояса

Перемещения узлов фермы зависят от угла наклона верхнего пояса нелинейно. Например, для фермы пролетом $L=9680$ мм оптимальными являются углы наклона $\alpha = 21-25^\circ$.

3. *Влияние формы решетки.* Исследования выполнены для ферм с решетками трех типов: раскосной, раскосно-стоечной (рис. 8, 9, 10). Меньшую материалоемкость при прочих равных условиях имеют фермы с раскосной решеткой.

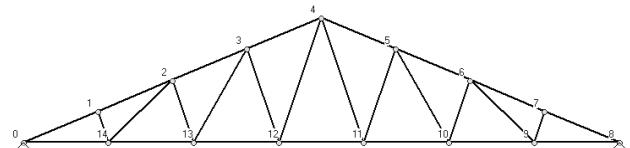


Рис. 8. Ферма с раскосной решеткой

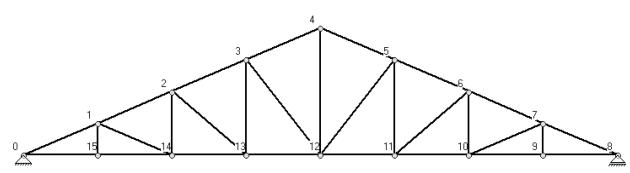


Рис. 9. Ферма с раскосно-стоечной решеткой, тип 1

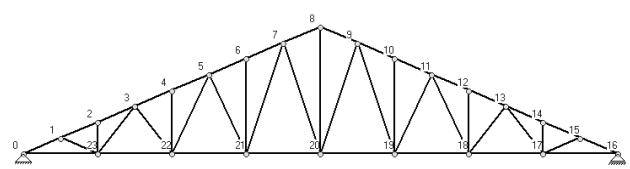


Рис. 10. Ферма с раскосно-стоечной решеткой, тип 2

ВЫВОДЫ

Выполненные исследования позволяют расширить представление о работе сквозных дощатых конструкций и наметить направления дальнейших теоретических и экспериментальных исследований ферм с податливыми соединениями, а также уточнить область их применения.

Программа, разработанная на языке программирования Delphi 7.0, позволяет определять усилия в стержнях и прогибы дощатых ферм, выполнять исследования различных типов

ферм треугольного очертания с податливыми соединениями, решать задачи проектирования ферм минимальной материалоемкости, учитывать условия размещения металлических зубчатых пластин, длину пиломатериалов, получать необходимые данные для последующего расчета узлов конструкций (определение площади МЗП). Программа может применяться при экспериментальных исследованиях дощатых ферм на МЗП, в том числе при вариантом проектировании конструкций, альтернативно по отношению к обычно используемым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Грачев В. А., Найштут Ю. С. Статическая работа деревянной фермы с соединениями на металлических зубчатых пластинах // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Эффективные строительные конструкции: теория и практика». Пенза, 2002. С. 47–53.
- Даракхвелаидзе П. Г., Марков Е. П. Программирование в Delphi 7. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 784 с.
- Крицын А. В. Расчет сквозных деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах с учетом упруговязких пластических деформаций: Автoref. дис. ... канд. техн. наук. Н. Новгород: ННГАСУ, 2005. 26 с.
- Миронов В. Г. Деформирование дощатых ферм с соединениями на металлических зубчатых пластинах при кратковременных и длительно действующих нагрузках // Совершенствование строительных конструкций из дерева и пластмасс: Межвузовский тематический сборник трудов. СПб., 1992. С. 48–55.
- Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП 25-80) / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. М.: Стройиздат, 1986. 216 с.
- СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1983. 31 с.
- СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия / Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2003. 44 с.
- Удалкин В. В. Исследование прогибов деревянных ферм // Сб. материалов всероссийской науч.-практич. конф. молодых ученых «Строительные конструкции – 2000». Ч. 3. «Конструкции из дерева и пластмасс. Строительная механика» / Моск. гос. строит. ун-т. М., 2000. С. 74–79.
- Фаронов В. В. Delphi 2005. Язык, среда, разработка приложений. СПб.: Питер, 2005. 560 с.