

УДК 624.01/04

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 приравниваются 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.

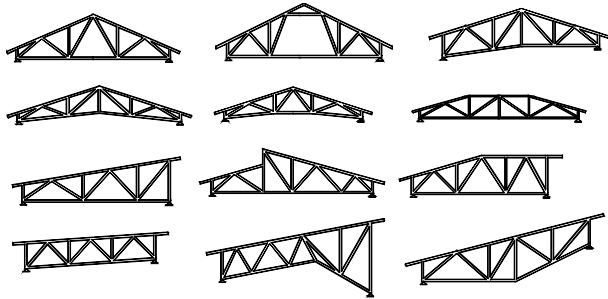


Рис. 1. Типы производимых ферм

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-защемленными концами [3] (рис. 2).

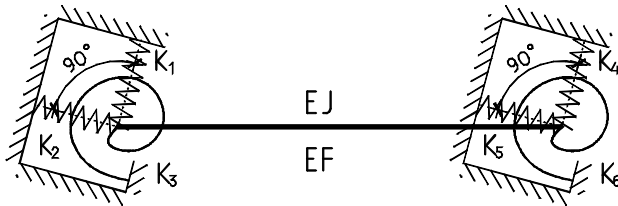


Рис. 2. Конечный элемент с упруго-податливыми опорами

Коэффициенты упругого защемления предлагается 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 толщии 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 остаться 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 конечного элемента № 55 (упругой связи). Жесткость связи задавалась в зависимости от усилий в стержне. Жесткость – это реакция связи при единичном смещении. Если деформация податливости равна $m = 2$ 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.

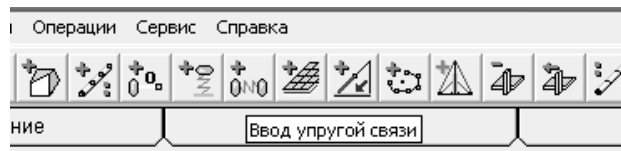


Рис. 3. Ввод данных об упругой связи



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.

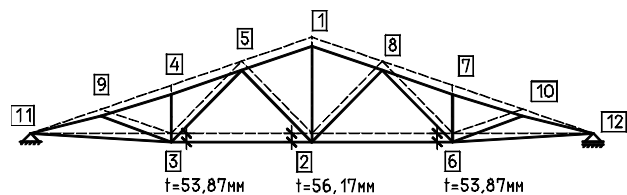


Рис. 5. Схема деформаций фермы

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 загрузок снеговой нагрузкой приняты по СНиП «Нагрузки и воздействия» [7]. Пользователь может задавать различные значения податливости соединений, выбирать условия эксплуатации конструкции, ха-

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 вариантном проектировании конструкций, альтернативно по отношению к обычно используемым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Дарахвелидзе П. Г., Марков Е. П. Программирование в Delphi 7. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 784 с.
3. Крицын А. В. Расчет сквозных деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах с учетом упруго-вязких пластических деформаций: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Н. Новгород: ННГАСУ, 2005. 26 с.
4. 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.
5. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП 25-80) / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. М.: Стройиздат, 1986. 216 с.
6. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1983. 31 с.
7. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия / Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2003. 44 с.
8. Удалкин В. В. Исследования 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.
9. Фаронов В. В. Delphi 2005. Язык, среда, разработка приложений. СПб.: Питер, 2005. 560 с.