

УДК 694.4: 658.52.011.56

### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЛАСТИНАХ

М.Н. Павленко, А.Б. Шмидт

Рассматриваются проблемы автоматизированного проектирования деревянных ферм на металлических зубчатых пластинах. Предложен новый подход к созданию систем проектирования ферм и узловых решений, позволяющий провести расчеты наиболее часто используемых конструкций. Внедрены компоненты интерактивной помощи и контроля действий пользователя – бегущая строка сообщений и окно динамических подсказок. Проведено тестирование готового продукта. Система предназначена для проектировщиков конструкций, а также может быть применена в учебном процессе.

**Ключевые слова:** деревянная ферма, металлические зубчатые пластины, узловые решения.

#### Введение. Постановка задачи

В мировой практике жилищного домостроения весьма популярен один из современных видов соединений деревянных ферм – металлические зубчатые пластины (МЗП) (рис. 1). Наибольшее применение такие соединения нашли в США, Канаде, Швейцарии, Финляндии. В России повышенный спрос на МЗП связан с задачами жилищного строительства. Выбор в пользу этих соединений обусловлен высокими экономическими и технологическими показателями [1].

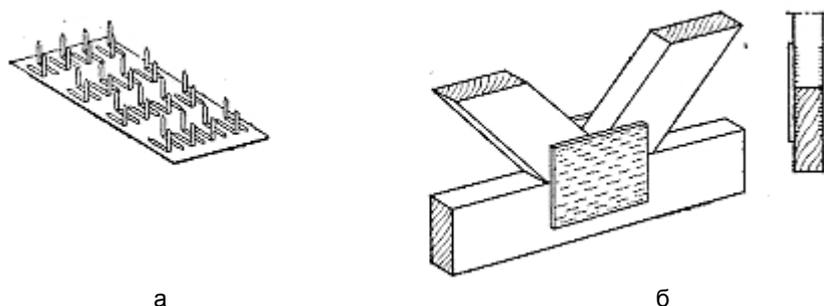


Рис. 1. Металлическая зубчатая пластина: внешний вид МЗП (а); узел (соединение) на МЗП (б)

В зарубежной практике производства и применения МЗП наиболее известна североамериканская компания MiTek [2], которая проектирует, производит и реализует разнообразные строения с использованием МЗП. Компанией разработано собственное программное обеспечение по проектированию таких соединений, ориентированное на использование своих пластин МЗП. При этом методика расчета и проектирования соединений на МЗП закрыта для проектировщика и не может использоваться для разработки новых видов соединений на МЗП.

В России исследованиями МЗП в 80-х годах прошлого столетия занимался Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В.А. Кучеренко. В результате были разработаны пластины МЗП 1.2 и МЗП 2 толщиной 1,2 мм и 2,0 мм и подготовлены «Рекомендации по проектированию конструкций с соединениями на МЗП» [3]. В дальнейшем эти рекомендации использовались в разработке нормативных документов по расчету деревянных конструкций [4, 5]. Одним из последних был составлен свод правил [6].

В основе расчета несущей способности МЗП лежит подбор рабочей площади пластины. Рабочей площадью принято считать площадь пластины на элементе без краевых полос шириной 10 мм (рис. 2) [4]. Однако вручную такой расчет достаточно трудоемок, если учесть большое число узлов на МЗП в решетчатой конструкции. Как правило, это приводит к чрезмерному увеличению запаса прочности.

Среди отечественных разработок по расчету деревянных ферм на МЗП известен продукт АРМ Wood, который, по утверждениям разработчиков [7], соответствует СТО 36554501-002-2006. Но методика расчета МЗП не раскрывается, и проектировщику трудно найти рациональное проектное решение, что снижает положительный эффект применения программы. Кроме того, в упомянутом программном обеспечении рассматриваются узлы только с одной пластиной, что в некоторых типах узла приводит к перерасходу пластин. В примере, приведенном на рис. 3, а, около 40% площади МЗП не задействовано в работу и не учитывается в расчетах. В таком узле целесообразнее устанавливать несколько пластин (рис. 3, б). Расход МЗП на конструкцию в целом снижается до 30%.

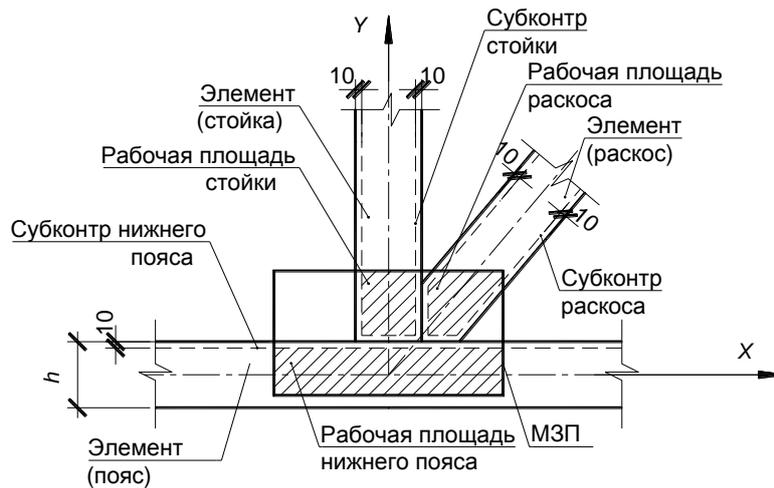


Рис. 2. Рабочая площадь МЗП

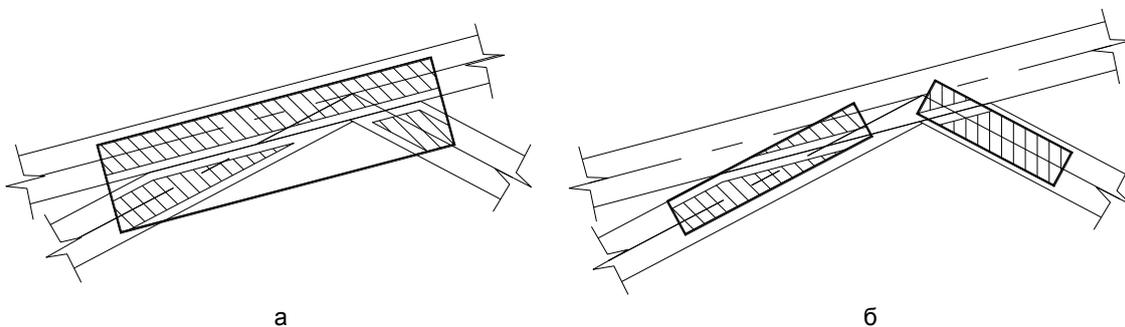


Рис. 3. Варианты размещения пластины в узле: узел с одной пластиной МЗП (а); узел с двумя пластинами МЗП (б)

Вопросы интерактивного определения рабочих площадей пластин МЗП, эффективного их позиционирования, а также снижения трудоемкости работ при проведении вычислений побуждают совершенствовать вычислительные процессы и создавать новые алгоритмы. Целью данной работы является создание автоматизированной системы проектирования деревянных ферм на МЗП с эффективным алгоритмом расчета и конструирования узлов, включая определение рабочих площадей и рациональное размещение МЗП в узле.

#### Алгоритм определения рабочих площадей пластины

Для автоматизации расчета МЗП, разработанных ЦНИИСК, создана система проектирования деревянных ферм на МЗП «УИИК-Ферма», входящая в состав учебно-информационного исследовательского комплекса (УИИК). В УИИК разработана серия программ по расчету и конструированию деревянных конструкций.

Основными достоинствами «УИИК-Ферма» являются определение рабочих площадей пластины, средства оптимизации расстановки МЗП в узле, мгновенная подсказка в ходе работы с разъяснениями, интуитивно понятный интерфейс, а также новые компоненты помощи и контроля процесса проектирования. Все это позволяет находить рациональное решение по проектированию и исследовать работу узла.

Для решения этих задач разработана библиотека численных методов работы с полигонами, полуплоскостями и точками, а также создан детерминированный алгоритм определения рабочих площадей.

Ставится задача параметрической оптимизации – определения наиболее подходящих параметров пластины, которые задаются следующим образом:

$$X = \{ pl = \langle d, l, \alpha, dx, dy \rangle \mid 0 \leq d, l \leq 100, 0 \leq \alpha \leq 2\pi, -50 \leq dx, dy \leq 50, A_{pl} \geq 50 \},$$

где  $d$  – ширина пластины, см;  $l$  – длина пластины, см;  $\alpha$  – угол поворота пластины, рад;  $dx$  – смещение центра пластины по оси  $OX$ , см;  $dy$  – смещение центра пластины по оси  $OY$ , см;

$A_{pl} = \sum_e Area(Poly(pl) \cap Poly_{10}(e))$  – рабочая площадь МЗП (рис. 4, а).

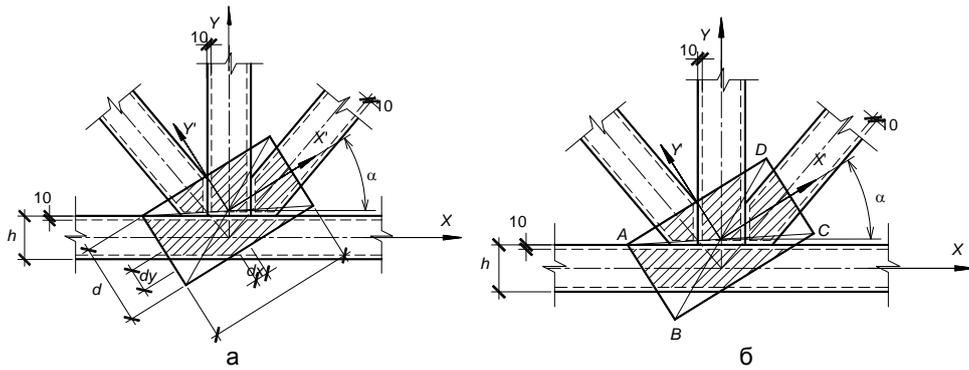


Рис. 4. Схема узла: геометрические параметры МЗП (а); исходный полигон МЗП (б)

Алгоритм определения рабочих площадей пластины представлен ниже.

В качестве исходного полигона используется полигон пластины –  $ABCD$   
 $X = \{pl \Rightarrow d, l, \alpha, dx, dy \}$  (рис. 4, б).

1. Для нахождения рабочей площади одного элемента в узловом соединении полигон раскоса  $X_1$  уменьшается на полосу шириной 10 мм, параллельную грани стержня:

$$X_{10} = X_1 \cap Poly_{10}(e).$$

2. От полигона  $X$  отсекаются полуплоскости, проходящие через границы полигона  $X_{10}$ :

$$X_e = X \cap P_{ab} \cap P_{cd} \cap P_{de} \cap P_{ea},$$

где  $P_{ab}, P_{cb}, P_{de}, P_{ea}$  – полуплоскости со сторонами  $ab, cd, de, ea$  соответственно (рис. 5).

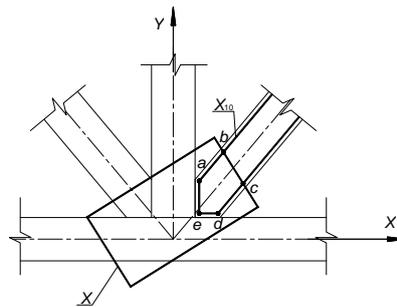


Рис. 5. Полигоны пересечений

3. Разбивая получившийся полигон  $X_e$  на треугольники, вычисляется его площадь по формуле Герона, которая и является искомой рабочей площадью МЗП:

$$A_{pl} = \sum_e Area(X'_e).$$

С помощью описанного алгоритма можно моделировать любые узлы на МЗП. Окно компоновки и расчета узла представлено на рис. 6.

Для более рационального расхода пластин разработан функционал размещения двух и более МЗП в узле. Рабочие площади в этом случае вычисляются для всех пластин.

Каждый элемент и МЗП в узле должны быть связаны. С этой целью разработана проверка связанности конструкции, реализованная с помощью алгоритма Флойда–Уоршелла на графе. Вершинами графа являются элементы, входящие в узел, а ребрами – пластины. Определяются стержни, для которых выполняется условие минимальных площадей, и соответствующие им вершины в графе соединяются ребром. Если граф связан, условие минимальных площадей и связанности узла выполняется.

Для точного и быстрого отображения модели фермы используется интерактивный способ взаимодействия с программой по технологии WYSIWYG (What You See Is What You Get).

Система рассчитана как на опытного проектировщика, так и на слабо подготовленного пользователя. Для этого разработаны и внедрены новые компоненты, направляющие и контролирующие действия проектировщика: окно динамических сообщений, бегущая строка, специализированные поля ввода числовых значений и др.

При нарушении рекомендаций или норм в бегущей строке выдается краткое сообщение с описанием ошибки. Для получения быстрой справки достаточно навести курсор мыши на нужный параметр, и в окне динамических подсказок появится его описание. Для развернутой помощи подготовлено пособие-программа по проблемной части, в которое включены СНиПы, карты районирования, атлас деревянных конструкций и другие справочные материалы.

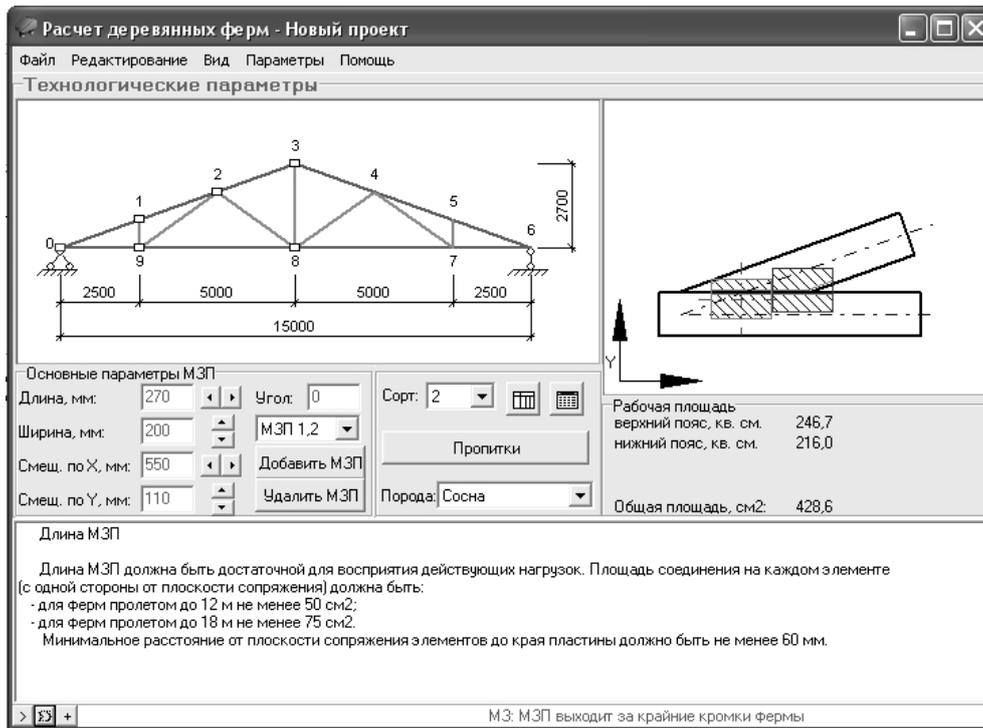


Рис. 6. Окно компоновки и расчета узла

Указанные компоненты, технология WYSIWYG, интерактивный режим взаимодействия с системой являются основополагающими составляющими для всех программ, входящих в УИИК. Графический интерфейс всех систем разработан на языке программирования Object Pascal в среде Delphi. Этот язык позволяет быстро и качественно реализовать интерфейс, не отвлекаясь на детали его реализации и API-функции операционной системы. Создание программного продукта в Delphi выполнено в интегрированной среде разработки IDE (Integrated Development Environment). IDE служит для организации взаимодействия с программистом и включает систему программных средств, содержащих управляющие элементы, с помощью которых можно проектировать интерфейсную часть приложения, писать программный код и связывать его с управляющими элементами.

Данная среда программирования ориентирована на «быструю разработку» программного обеспечения (ПО) – технологию RAD (Rapid Application Development). Это позволяет значительно сократить время разработки диалоговых окон и реализовать поставленную задачу за счет:

- объектно-ориентированного подхода к разработке приложений [8];
- удобного интерфейса работы с базами данных;
- визуальных средств создания диалоговых окон.

Графическая часть реализована в среде AutoCAD компании Autodesk. Для автоматизации вывода чертежей создаются программы на языке Visual Lisp, которые сохраняются в отдельных файлах в виде проектов и загружаются в среде AutoCAD.

Преимуществами предложенного ПО перед продуктами-аналогами являются:

- разделение процесса проектирования на шаги и последовательное их выполнение;
- контроль ошибок ввода информации и быстрая подсказка по их редактированию;
- внедрение новых компонентов интерактивной помощи;
- динамическая визуализация графических элементов;
- развернутый протокол расчета в форме пояснительной записки с необходимыми ссылками и иллюстрациями;
- выполнение графической документации (рабочих чертежей на 60%);
- поддержка нормативно-справочной информации по предмету проектирования;
- составление «Истории расчета» с анализом проведенных сеансов расчета;
- наличие экспертной системы.

### Заключение

Разработана автоматизированная система проектирования деревянных ферм на металлических зубчатых пластинах. Программа позволяет выполнять прочностной расчет узлов с помощью разработанного алгоритма определения рабочих площадей и рационально размещать металлические зубчатые пластины в узле.

В системе «УИИК-Ферма» можно провести расчет нескольких ферм одновременно, сравнить их и выбрать подходящий вариант, отвечающий техническим и экономическим критериям. Система позволяет повысить качество проектной документации и может быть полезна проектировщикам деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах, а также при обучении студентов и в переподготовке специалистов строительных специальностей.

### Литература

1. Арленинов Д.К., Буслаев Ю.Н. Конструкции из дерева и пластмасс: Учеб. для техн. вузов. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 280 с.
2. Mitek: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mitek.ru/tech-mitek/istoriya-mitek.html/>, св. Яз. рус. (дата обращения 25.11.2011).
3. Рекомендации по проектированию и изготовлению дощатых конструкций с соединениями на металлических зубчатых пластинах / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1983. – 40 с.
4. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1986. – 216 с.
5. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2002. – 30 с.
6. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. – М.: ОАО «ЦПП», 2011. – 87 с.
7. НПЦ АПМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.apm.ru/rus/civil/#wood/>, св. Яз. рус. (дата обращения 25.11.2011).
8. Боб Е.Б., Латников А.В. Эволюция методов и технологий программирования // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2008. – № 48. – С. 191–198.

- Павленко Мария Николаевна* – Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, аспирант, [mariya.pavlenko@gmail.com](mailto:mariya.pavlenko@gmail.com)
- Шмидт Александр Борисович* – Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой, [ukf@bk.ru](mailto:ukf@bk.ru)