

УДК 694.4: 658.52.011.56

*А.Б. Шмидт, М.Н. Павленко*

С.-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Шмидт Александр Борисович родился в 1953 г., окончил в 1975 г. Алтайский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой технологий проектирования зданий и сооружений С.-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. Имеет более 80 печатных работ в области проектирования и расчета несущих клееных деревянных конструкций.  
E-mail: ukf@bk.ru



Павленко Мария Николаевна окончила в 2009 г. Алтайский государственный технический университет, аспирант кафедры технологий проектирования зданий и сооружений С.-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. Имеет 9 печатных работ в области автоматизированных систем проектирования строительных конструкций.  
E-mail: mariya.pavlenko@gmail.com



### **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ ФЕРМ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЛАСТИНАХ С ОПТИМИЗАЦИЕЙ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

Рассмотрены проблемы проектирования деревянных ферм на металлических зубчатых пластинах (МЗП), связанные с рациональным расположением и определением рабочей площади пластины, перерасходом материалов. Предложен программный комплекс УИИК, позволяющий проектировать фермы на МЗП. Разработан алгоритм определения рабочих площадей и средства рационального размещения пластины в узле. Описаны новые компоненты, внедренные в систему, технология интерактивного взаимодействия с объектами, развернутая помощь на каждом этапе проектирования.

*Ключевые слова:* автоматизированная система, программный продукт, деревянные конструкции, металлические зубчатые пластины.

Одним из современных видов соединений деревянных элементов являются металлические зубчатые пластины (МЗП), которые в последнее время приобретают популярность. В России они применяются в жилищном домостроении как один из видов соединений элементов стропильных конструкций.

Начало исследований работы соединений на МЗП и накопление опыта их применения и проектирования было положено в 70-х годах прошлого столетия в Йошкар-Оле. Результаты исследований использовались при разработке методов расчета и нормативной документации решетчатых конструкций на МЗП. На сегодняшний день появились разнообразные (по форме и располо-

жению зубьев, толщине и размерам) типы этих пластин в зависимости от используемой породы древесины элементов.

В соответствии с нормативными документами несущая способность соединений зависит от их типа, размера, толщины и расположения пластины по отношению к волокнам древесины. Суть расчета соединения на МЗП заключается в подборе «рабочей площади» пластины для определения ее несущей способности и сравнении последней с действующими на узел усилиями [1, 4–7].

Рабочей считается площадь МЗП, приходящаяся на элементы, за исключением краевых полос шириной 10 мм. Принимая во внимание требуемую площадь пластины, подбирают параметры МЗП таким образом, чтобы ее рабочая площадь на элементе была больше требуемой. При этом необходимо, чтобы минимальная площадь МЗП на элементе составляла не менее  $50 \text{ см}^2$ , а сама пластина не выходила за краевые кромки элементов. Поэтому необходимо разместить МЗП в узле наиболее рациональным образом и задействовать ее максимальную площадь.

Расчетная несущая способность МЗП принимается на  $1 \text{ см}^2$ , так как прочность и деформативность соединения зависит от неравномерности восприятия усилия зубьями по мере удаления от стыка, деформации поверхности пластины, возникновения дополнительного изгибающего момента из-за несимметричного расположения зубьев. Работа МЗП характеризуется следующими параметрами (рис. 1):

$X$  – главная ось МЗП;

$N$  – действующее усилие;

$\alpha$  – угол между осью МЗП и вектором силы  $N$ , определяющий расчетную несущую способность пластины при растяжении;

$\beta$  – угол между направлением волокон древесины и вектором силы  $N$ , определяющий расчетную несущую способность пластины;

$\gamma$  – угол между осью МЗП и линией стыка, определяющий расчетную несущую способность пластины при срезе.

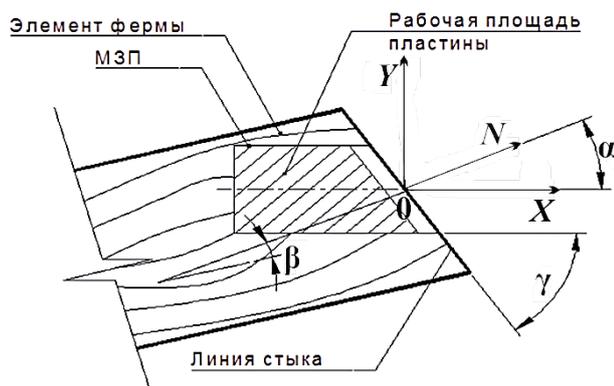


Рис. 1. Геометрические параметры МЗП

Учитывать углы  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  необходимо, так как пластина по-разному работает в разных направлениях. Несущая способность МЗП напрямую зависит от угла между главной осью пластины, осью действующего усилия и направлением волокон древесины. Таким образом, при компоновке узлов на МЗП следует знать углы  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , требуемую расчетную площадь МЗП и действующие усилия.

В ряде случаев позиционирование одной пластины (рис. 2, *а*) в узле является нерациональным решением: несущая способность пластины используется не в полной мере, а большая часть МЗП в расчете не учитывается. Оптимальным решением является позиционирование нескольких пластин (рис. 2, *б*). Такой подход позволяет максимально использовать площадь пластины и несущую способность МЗП за счет оптимального сочетания углов  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .

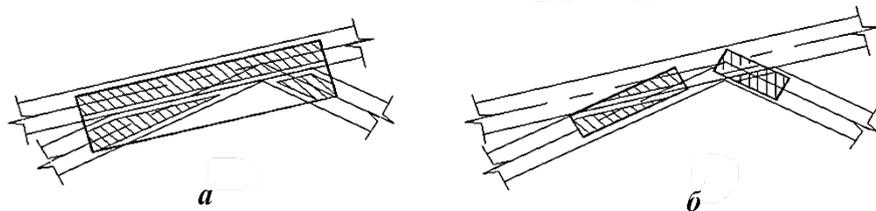


Рис. 2. Варианты размещения пластин в узле: *а* – одна пластина; *б* – несколько пластин

В рекомендациях по расчету конструкций на МЗП [6] приведен пример расчета узла, подобного приведенному на рис. 2. В качестве рационального решения предлагается расположить две пластины МЗП, ориентированные параллельно осям раскосов. При таком позиционировании углы  $\alpha$  и  $\beta$  – минимальны,  $\gamma$  – максимален, что дает большее значение расчетной несущей способности МЗП. При этом примерно в 2 раза снижается расход стали на МЗП, экономия в пересчете на всю конструкцию типа балочной фермы составляет около 30 %.

Выполнять такой расчет «вручную» неэффективно в виду большого количества узлов. Как правило, это приводит к большим запасам прочности и неоправданной унификации узлов [6].

Известные программные комплексы (Mitek [8], APM Wood [2]) для проектирования конструкций на МЗП имеют, на наш взгляд, существенные недостатки, главные из которых заключаются в следующем: отсутствует возможность оптимизации конструкции узла; нет средств для изменения расположения пластины в узле; не разработана возможность установки более одной пластины; методика расчета скрыта от проектировщика и ориентирована только на МЗП с известными характеристиками.

Разработанный в СПбГАСУ программный комплекс позволяет выполнять эти задачи и более эффективно проектировать деревянные строительные конструкции из МЗП. Ниже приводится оригинальная методика, разработанная авторами и положенная в основу нового программного комплекса УИИК [3].

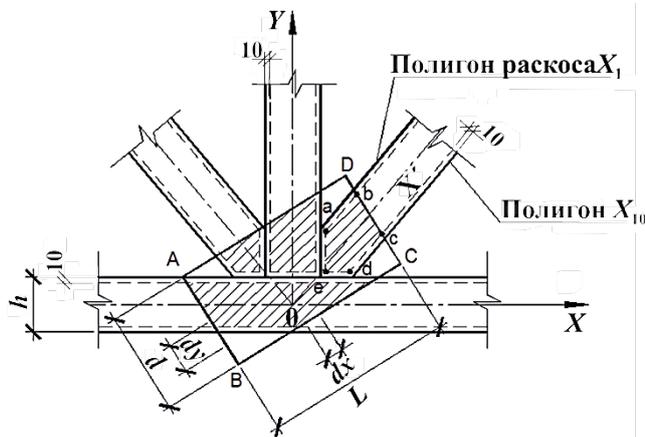


Рис. 3. Полигоны рабочих площадей МЗП

Для нахождения рабочей площади МЗП разработан детерминированный алгоритм, основанный на численных методах работы с полигонами и полуплоскостями. В качестве исходного используется полигон пластины ABCD  $X = \{pl = \langle d, l, \alpha, dx, dy \rangle\}$  (рис. 3).

1. Для определения 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 пластины  $X$  отсекаются полуплоскости, проходящие через границы полигона  $X_{10}$ :  $X_e = X \cap P_{ab} \cap P_{cd} \cap P_{de} \cap P_{ea}$ , где  $P_{ab}$ ,  $P_{cd}$ ,  $P_{de}$ ,  $P_{ea}$  – полуплоскости со сторонами ab, cd, de, ea соответственно.

3. Получившийся полигон  $X_e$  разбивается на треугольники, вычисляется его площадь по формуле Герона:

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

которая и является искомой рабочей площадью МЗП.

Особенностью описанного алгоритма является моделирование практически любых узлов на МЗП. Для более эффективного расхода МЗП разработан функционал размещения двух и более пластин в узле с возможностью поворота (рис. 4). Важной особенностью позиционирования нескольких пластин является проверка связности конструкции, реализованная с помощью алгоритмов на графе. При повороте или перемещении МЗП относительно центра узла рабочая площадь пересчитывается автоматически. Такое представление компоновки узла позволяет наглядно проследить зависимость несущей способности узла от расположения МЗП.

Сильной стороной УИИК является интуитивно-понятный интерфейс, что позволяет без труда разобраться в функциональных возможностях вычислительного комплекса. Программа носит обучающий характер. Для помощи в проектировании и обучении разработаны компоненты, отвечающие этим задачам: окно динамических подсказок, строка бегущих сообщений, поле числового ввода и др.

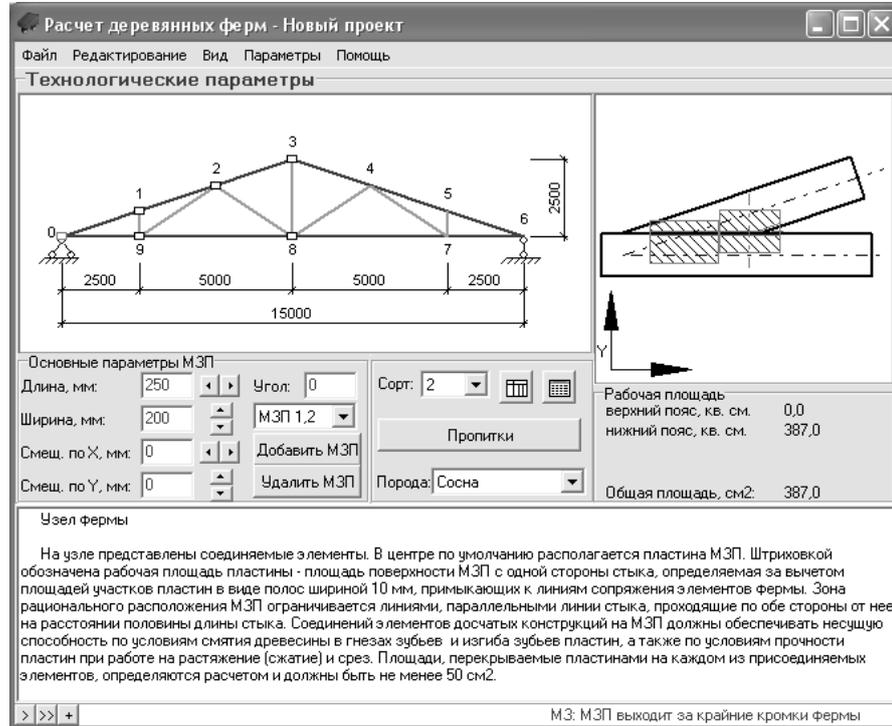


Рис. 4. Окно компоновки узлов «Технологические параметры»

В окне динамических подсказок даются пояснения по каждому параметру. Появление таких подсказок осуществляется наведением «мыши» на необходимый компонент. Бегущая строка динамических сообщений – еще один новый направляющий компонент, который отображает «мягкие» и «жесткие» запреты. Рекомендации к корректному расчету – мягкие запреты, выдаются зеленым цветом, а критические ситуации (например, выход МЗП за кромку фермы) – жесткие запреты, выдаются красным цветом.

Система таких запретов ведет пользователя к пассивному запоминанию информации путем многократного ее повторения. В этом состоит элемент обучения конструированию и расчету.

Для помощи в развернутом виде сформирована внутренняя программа-помощник, содержащая справочные и методические материалы, карты и нормативные документы, атлас строительных конструкций, что позволяет получить необходимый материал в нужный момент.

В программе используется интерактивный способ взаимодействия объектов по технологии WYSIWYG (What You See Is What You Get). Этот способ подразумевает мгновенное отображение изменений при вводе новых параметров.

Разработанный продукт предназначен для проектирования стержневых деревянных конструкций, а также для численного исследования плоскостных

систем с различным очертанием (геометрией). Проектировщик имеет свободу выбора нюансов проектного и конструктивного решений, возможность анализа своих ошибок, корректировки промежуточных и конечных результатов и сравнения их с передовыми и современными решениями. С его помощью можно провести автоматизированный расчет ферм на МЗП, оптимизировать расстановку пластин в узле, а также помочь начинающим специалистам освоить тонкости проектирования, повысить качество и точность проектной документации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арленинов Д.К., Буслаев Ю.Н. Конструкции из дерева и пластмасс: учеб. для техн. вузов. М.: Изд-во АСВ, 2002. 280 с.
2. НПЦ АПМ. Режим доступа: <http://www.apm.ru/rus/civil/#wood> (дата обращения 25.11.2011).
3. Павленко М.Н., Шмидт А.Б. Автоматизированная система проектирования и исследования деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах // Науч.-техн. вест. информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 1(77). С. 124–128.
4. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) / ЦНИИСК им. Кучеренко. М.: Стройиздат, 1986. 216 с.
5. Расчет композитных деревоклееных балок на основе применения инженерного метода / С.И. Рощина, М.В. Лукин, Б.В. Лабудин, В.И. Мелехов // Лесн. журн. 2012. № 3. С. 90–94.
6. Рекомендации по проектированию и изготовлению дощатых конструкций с соединениями на металлических зубчатых пластинах / ЦНИИСК им. Кучеренко. М.: Стройиздат, 1983. 40 с.
7. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. М.: ОАО ЦПП, 2011. 87 с.
8. Mitek: Режим доступа: <http://www.mitek.ru/tech-mitek/istoriya-mitek.html> (дата обращения 25.11.2011).

Поступила 30.03.12

*A.B. Schmidt, M.N. Pavlenko*

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

#### **Some Features of Designing Wood Trusses with Toothed Metal Plates with Optimization of Joint Connections**

The article considers problems of designing wood trusses with toothed metal plates, related to the rational location of plates, determination of the working area of the plate, and overexpenditure of material. A software package able to solve these problems is suggested while it allows designing a truss for a minimum salary. An algorithm is developed to determine the working areas and means of rational distribution of the plate in the joint. We describe new components embedded in the system, a technology of interaction with the objects, as well as extensive assistance at any step of the work on designing.

*Key words:* automated system, software, carpentry, toothed metal plates.