

СОЕДИНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ. МЕТОДЫ РАСЧЕТА И МОДЕЛИРОВАНИЯ

The brief statement of results of the state-of-the-art review of theoretical development is given in the field of account of connections of joiner's connections. The urgency and problems of application of means of computer modeling of products is considered at account of connections of details on the basis of a method of final elements.

Введение. Столярные изделия (СИ) – изделия, изготавливаемые полностью или в основном из древесины и древесных материалов: части зданий (окна, двери, перегородки, щиты, паркет и т. п.), клееные несущие и ограждающие конструкции, мебель, корпуса телевизоров, музыкальные инструменты, спортивный инвентарь и многое другое [1]. Они характеризуются тщательной обработкой поверхности, точной пригонкой соединений и сборочных единиц.

Основными конструктивными элементами СИ являются бруски, щиты (цельные и клееные), рамки и коробки.

Прочность, долговечность и экономичность СИ в значительной мере обеспечиваются обоснованным выбором материалов, размеров деталей, элементов и назначением характеристик соединений.

Размеры деталей и элементов определяются с учетом требований стандартов к изделиям (функциональные, эргономические, конструктивные и др.), эстетических критериев дизайна, размерных характеристик исходных материалов, крепежных изделий и фурнитуры. В наиболее ответственных случаях размеры деталей и элементов устанавливают расчетным путем или на основе данных, накопленных в результате эксплуатации изделий [2].

Необходимость ускорения освоения новой продукции, повышения ее качества, конкурентоспособности и достижения в области компьютерных информационных технологий стимулирует освоение методов многокритериального исследования объектов разработки в процессе конструкторско-технологической подготовки промышленного производства. Реализация этих методов на основе компьютерного моделирования столярных изделий позволит оценить напряженно-деформированное состояние (НДС) деталей и изделия в целом с учетом условий его эксплуатации и взаимодействия с окружающей средой.

Цель данной работы заключалась в определении задач исследований по совершенствованию конструкции столярных изделий и их элементов посредством компьютерного моделирования и анализа НДС соединений деталей и сборочных единиц. Работа предусматривала рассмотрение методов и результатов ранее выполненных исследований.

Основная часть. При изготовлении столярных изделий детали и узлы составляют основу их конструкции.

Стандартная градация размеров исходных древесных материалов или их недостаточность для получения нужных значений в конструкции приводят к необходимости соединения элементов по длине (сращивание), толщине и ширине. В некоторых конструкциях (рамы, узлы деревянных ферм и др.) детали приходится присоединять под углом [3].

В столярном производстве применяют следующие способы соединения: столярными вязками на клею (наиболее распространен), без шипов на клею, шурупами, скрепками, болтами и глухарями, гвоздями (как вспомогательное и дополнительное соединение), шпильками, нагелями и др. [4], [5], [13], [14].

Для сборки деталей, узлов в изделия применяют различные виды разъемных и неразъемных столярных соединений. Разъемные могут быть жесткими на стяжках или шкантах, шарнирными на петлях, съемными и стационарными. Неразъемные соединения выполняют на гвоздях, шурупах и скрепах.

Основные соединения по своему назначению объединены в 5 групп: угловые концевые, угловые срединные, угловые ящичные, соединения по длине, соединения по кромке [6].

Столярные вязки отличаются от плотничных врубок и замков большей тщательностью выполнения и применением клея.

Для надежной вязки соединяемые детали должны иметь правильную геометрическую форму, быть чисто обработаны и иметь точные, в пределах допуска, размеры.

В последнее время активизировались разработки новых решений угловых соединений. В частности, компанией «Квин-Сви́г» (Украина) запатентовано и используется в производстве деревянных окон и дверей угловое SWIG-соединение (рис. 1). Оно предусматривает раскрой профилей в размер на «ус», фрезерование пазов под шпонку типа двойной «ласточкин хвост» и паза под внутреннюю вставную ламель (шип). Последнюю выполняют в виде двухсегментной прессованной пластиковой или деревянной пластины. Угловое соединение рамы створки осуществляют посредством впрессовки пластиковой шпонки в форме двойного

«ласточкиного хвоста» и двухсегментной ламели. Такая конструкция позволяет упростить изготовление изделий, повысить прочность и влагостойкость соединения.



Рис. 1. Угловое SWIG-соединение

Аналогичные конструкции угловых соединений разработаны в Германии (например, шпонка «Хоффмана») и используются рядом других предприятий.

Угловое соединение «Genius» швейцарского предприятия Fentech (рис. 2).

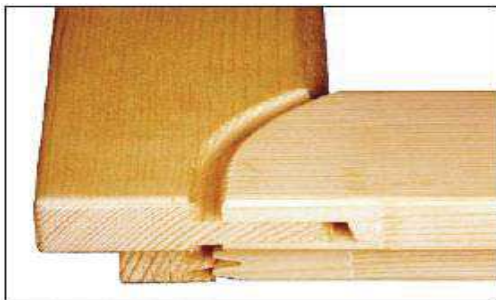


Рис. 2. Угловое соединение «Genius»

Преимуществом такого углового соединения стало сокращение на 40% открытых торцов по сравнению с прорезными шипами, но прочность такого соединения несколько ниже. Для изготовления такого соединения необходимо использование дорогостоящих обрабатывающих центров.

Угловое соединение, выполненное по технологии «Старт», московского предприятия «ТБМ» (рис. 3).



Рис. 3. Угловое соединение по технологии «Старт»

Это технология, в которой используется соединение брусков «на ус» с применением в качестве крепежных элементов плоских шкантов и шпонки в виде «двойного ласточкиного хво-

ста», изготовленных из полиамида (нейлона). Преимуществом такого соединения является то, что практически полностью исключаются открытые торцы и к тому же прочность соединения в два раза выше, чем соединения на прорезных шипах. Также при сборке таких соединений не требуется вайм.

Следует отметить, что многообразие и постоянное совершенствование соединений деталей из древесины в литературе рассмотрено недостаточно. В основном в ней представлены результаты экспериментальных исследований и редко встречаются данные о разработке методик расчета и проектирования столярных конструкций.

Одна из первых попыток теоретического расчета внутренних усилий в узлах стульев и напряженного состояния, возникающего в различных элементах СИ, была сделана в Ленинградской лесотехнической академии (1932 г.). В качестве расчетной схемы стула был принят ломаный стержень, нагруженный сосредоточенной силой [7]. Используемая расчетная схема плохо отражает действительную работу конструкции.

Последующие теоретические работы в этом направлении были посвящены преимущественно расчетам на прочность и жесткость отдельных узлов и элементов СИ. С. А. Ильинский исследовал прочность шиповых соединений деревянных элементов с целью установления оптимальных натягов и зазоров [8]. Н. М. Беляков получил теоретические формулы для расчета шиповых соединений [9]. Попытка разработать методики на прочность некоторых элементов мебельных изделий сделана в работе П. И. Демешина [10].

В. И. Королев при расчете на прочность стульев и кресел рассматривал их расчетные случаи нагружения [7]. Он предлагал нагрузки, действующие на стулья в процессе эксплуатации, считать статическими, а влияние внезапных ударных и динамических нагрузок учитывать опытным коэффициентом динамичности. Силовые конструкции стульев им заменяются плоскими стержневыми системами (рамами). Однако если проанализировать СИ (столярно-мебельные в частности), то, как правило, они выполнены в статически неопределимых силовых схемах. Поскольку наиболее рациональными схемами при изготовлении СИ являются трижды статически неопределимые силовые схемы [7], то общее решение системы канонических уравнений с тремя неизвестными с учетом симметрии побочных коэффициентов является громоздким и достаточно трудоемким при вычислениях.

Теоретические работы по созданию научно обоснованных инженерных методов расчета на прочность и жесткость узлов и элементов кор-

пусной мебели проводились в Московском лесотехническом институте [7], [15], [16], [17]. Изделие представляется в виде простых геометрических элементов, а реальные кинематические связи между его отдельными узлами и элементами идеализируются, чтобы максимально упростить математический анализ конструкции. Внешние эксплуатационные нагрузки заменены определенными по величине, направлению и месту приложения силами. Материалы, из которых изготовлено изделие, предполагаются в расчетной схеме однородными или неоднородными, изотропными или анизотропными.

Анализируя литературные источники [2]–[10], можно отметить, что большинство рассматриваемых задач, связанных с исследованием НДС столярных конструкций и их элементов, сводится к решению одного или нескольких дифференциальных уравнений равновесия элемента, соответственно с одним или несколькими неизвестными.

Точное решение таких уравнений не представляет затруднений лишь в некоторых элементарных случаях. Например, расчет на прочность и деформативность полки со свободными кромками (полка рассматривается как широкая балка, шарнирно закрепленная по краям и нагруженная равномерно распределенной нагрузкой [7]). При решении реальных задач часто приходится сталкиваться с таким объемом вычислительных работ, что от точного решения отказываются, а во многих случаях точное решение задачи вообще невозможно, т. к. граничные условия или условия на контуре просто не выражаются в аналитической форме. Поэтому, как правило, при решении практических задач используют приближенные методы решения.

Приближенные методы решения задач разделяют на две основные группы.

1. Вариационные методы, которые дают приближенные аналитические выражения искомой функции (функции перемещений или функции внутренних усилий).

2. Численные методы, которые дают значения искомой функции при тех или иных значениях аргумента.

К первой группе относятся вариационные методы Ритца, Бубнова – Галеркина (рассмотрены в источнике [7] на примере определения прогиба ортотропных пластинок при поперечном изгибе для расчета на прочность корпусной мебели), метод Треффца и др. [11].

Ко второй группе относятся метод сеток и его более совершенная модификация – метод конечных элементов [12], а также ряд графических и полуграфических методов, таких, как, например, метод прямых, метод коллокаций и др.

Преимущество вариационных методов заключается в том, что задача сводится обычно к

решению системы двух, трех, редко четырех уравнений, которые дают хорошее приближение к действительному состоянию конструкции. К их недостаткам следует отнести то, что возможности вариационных методов ограничены сложными контурами и сложными законами распределения внешней нагрузки, т. к. применение вариационных методов требует, чтобы было, хотя бы в приближенной форме, определено аналитическое выражение внешней нагрузки, деформированной упругой поверхности элемента и других условий задачи.

Численные методы, в сравнении с вариационными, имеют более универсальный характер, т. к. не требуют аналитических выражений условий задачи. Однако численные методы обладают рядом недостатков. Так, для получения удовлетворительного решения они требуют нанесения на исследуемую область густой сетки или разбиения на достаточно большое число элементов, что неизбежно влечет за собой решение систем алгебраических уравнений с большим числом неизвестных, что становится возможным только при наличии ЭВМ. Кроме того, численные методы часто приводят к неточности решений, особенно в местах приложения сосредоточенных сил, при наличии острых углов, подкреплений и т. д., там, где нарушается гладкость полей переменных.

Недостатком численных методов является то, что они не дают аналитического выражения искомой функции, а следовательно, для определения параметров НДС в данной области приходится вычислять эти величины во всех узлах элементов, т. е. получать дополнительную информацию тех областей, которые нас могут не интересовать.

Таким образом, методы механики, а также вариационные методы в расчете деревянных конструкций не дают полного представления о работе конструкции и не позволяют оценить равномерность распределения и отсутствие концентрации напряжений в соединениях изделий из древесины, а также не позволяют прогнозировать влияние изменения влажности древесины и усадки клея на столярную конструкцию.

Появление компьютерной техники и развитие вычислительной математики привели к серьезным изменениям традиционных подходов к инженерным расчетам. Одним из актуальных и современных направлений повышения эффективности конструкторской подготовки производства СИ является применение моделирования объекта разработки и численного метода конечных элементов (МКЭ). Первичными переменными, которые вычисляются в ходе конструкционного анализа с помощью МКЭ, являются смещения. В дальнейшем, исходя из вычисленных смещений в узлах сетки, определяются

такие параметры, как напряжения, упругая или пластическая деформация и пр.

Особенностями МКЭ, обеспечившими ему ведущее положение в прикладной вычислительной математике, стали присущие методу:

- универсальность – пригоден для решения самых различных задач математической физики (механика деформируемого тела, теплопроводность, задачи электродинамики);
- хорошая алгоритмируемость – возможность разработки программных комплексов, охватывающих широкий круг прикладных задач;
- хорошая численная устойчивость МКЭ алгоритмов.

Совершенствование персональных компьютеров и их широкое применение в автоматизированном проектировании привели к ускоренному развитию и появлению прикладных систем конечно-элементного анализа, которые исключают трудоемкие операции ручной подготовки исходных данных и предоставляют прекрасные возможности для обработки результатов математического моделирования. На высоком уровне МКЭ реализован в таких системах конечно-элементного анализа, как ANSYS, NASTRAN, ADAMS и им подобных.

Заключение. Совершенствование конструкции столярных изделий, обеспечивающее повышение эксплуатационных качеств продукции, снижение себестоимости, расхода материалов и уменьшение трудоемкости их изготовления является важной научно-технической и производственной задачей.

Многие задачи, с которыми сталкиваются исследователи и инженеры, не поддаются аналитическому решению либо требуют значительных затрат на создание натурных опытных образцов и проведение экспериментальных работ. Компьютерное моделирование и анализ объекта разработки является актуальным средством быстрого, а иногда и единственно возможного решения инженерных проблем.

Развитие методов математического моделирования, и прежде всего метода конечных элементов, дает возможность разработки и внедрения новых, более точных и эффективных методик расчета и оптимизации столярных конструкций.

Предметом дальнейших исследований является напряженно-деформированное состояние основных деталей и элементов, а также конструкции столярных изделий в целом под действием статических нагрузок и воздействий.

Исследования, направленные на разработку прикладных методик расчета столярных изделий, учитывающих особенности древесного материала и действительной работы конструкций, а также пути получения определенных конструктивных форм с рациональными параметрами, является актуальной научной задачей.

Литература

1. Российская архитектурно-строительная энциклопедия. Т. 8: Деревянное зодчество России. – М.: ВНИИТПИ Госстроя России, 2002. – 325 с.
2. Давиденко, В. А. Конструирование столярно-мебельных изделий / В. А. Давиденко. – М.: Лесная пром-сть, 1966. – 250 с.
3. Иванов, В. Ф. Деревянные конструкции / В. Ф. Иванов. – Л.: Государственное изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1956. – 317 с.
4. Отрешко, А. И. Справочник проектировщика. Деревянные конструкции / А. И. Отрешко – М.: Государственное изд-во лит-ры по строительству и архитектуре, 1957. – 517 с.
5. Конструкции из дерева и пластмасс: учеб. / М. М. Гаппоев [и др.]; под общ. ред. М. М. Гаппоева. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 317 с.
6. Основные соединения деталей из древесины и древесных материалов. Типы и размеры: ГОСТ 9330–76. – Введ. 01.07.1977. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2000. – 11 с.
7. Королев, В. И. Основы рационального конструирования мебели / В. И. Королев. – М.: Лесная пром-сть, 1973. – 192 с.
8. Ильинский, С. А. Допуски и посадки в деревообработке / С. А. Ильинский. – М.: Гослесбуиздат, 1960. – 300 с.
9. Беляков, Н. М. Расчет прочности шиповых соединений: учеб. пособие / Н. М. Беляков – Ленинград: ВЗЛТИ, 1960. – 39 с.
10. Демешин, П. И. Конструирование столярных изделий / П. И. Демешин – М.; Л.: Гослесбуиздат, 1960. – 300 с.
11. Иванов, В. Н. Вариационные принципы и методы решения задач теории упругости / В. Н. Иванов. – М.: Российский ун-т дружбы народов, 2001. – 176 с.
12. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике. / О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
13. Engineering Design in Wood (Limit States Design), Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, 1995.
14. Halsak, P. The Handyman's Book: Essential Woodworking Tools and Techniques / P. Halsak. – USA: Ten Speed Press, 2001. – 708 p.
15. Поташев, О. Е. Изгиб боковых стенок корпусной мебели. / О. Е. Поташев // Сб. работ МЛТИ. – 1968. – Вып. 30. – С. 68–79.
16. Королев, В. И. К расчету на прочность и жесткость некоторых узлов и элементов корпусной мебели. / В. И. Королев // Сб. работ МЛТИ. – 1970. – Вып. 35. – С. 104–130.
17. Королев, В. И. Расчетные случаи нагружения и расчетные схемы для основных узлов и элементов корпусной мебели / В. И. Королев, О. Е. Поташев / Сб. работ МЛТИ. – 1968. – Вып. 30. – С. 34–59.