

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ВИТЫХ НАГЕЛЯХ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

MODELING COMPOUNDS WOODEN ELEMENTS ON TWISTED NAGEL IN THE SYSTEMS OF THE AUTOMATED DESIGNING

к.т.н. Столповский Г.А., инженер Руднев И.В., магистр Ярчевский И.И. (Оренбургский государственный университет, Россия)

candidate of technical sciences Stolpovskiy G.A., engineer Rudnev I.V., master's degrees Jarichevskiy I.I. (Orenburg State University, Russia)

Аннотация

В статье приведены результаты численных исследований напряженно-деформированного состояния соединений деревянных конструкций с применением нового типа витых нагелей крестообразного поперечного сечения с помощью программного комплекса АРМ WinMachine. Проведено сравнение полученных результатов с данными экспериментальных исследований.

В расчетах на прочность строительных конструкций и их соединений достаточно часто используются различные системы автоматизированного проектирования, такие как «Лира», «АРМ WinMachine», «ANSYS», «SolidWorks», основанных на методе конечных элементов. Однако овладеть в полном объеме мощными пакетами программ, таких как ANSYS, достаточно проблематично, в том числе из-за англоязычного интерфейса. Как правило, для этого необходимо специальное обучение не только методам работы в системе, но и употребляемой английской терминологии.

С другой стороны у более доступных, с точки зрения возможности обучения, пакетов программ порою не достаточно графического функционала для решения поставленных задач. К таким задачам зачастую относятся расчеты на прочность контактирующих элементов строительных конструкций, в частности, их соединения. Например, в модуле АРМ Structure3D, являющимся базовым расчетным ядром

системы АРМ WinMachine, достаточно сложно создать твердотельную модель сборки из нескольких разнохарактерных элементов.

В качестве примера рационального использования САД/САЕ систем рассмотрим методы построения модели соединения стального крупноразмерного винтового нагеля крестообразного поперечного сечения с деревянным брусом и расчет соединения на прочность при выдергивании.

Стальной нагель имеет достаточно сложную форму (смотри рисунок 1). Аналогичную форму имеет и ответный паз в деревянном брус, сформированный в процессе забивания нагеля.

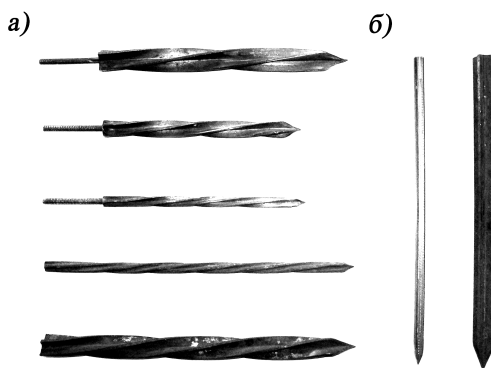


Рисунок 1 - Стальные стержни (нагели) крестообразного поперечного сечения: а) с винтовыми ребрами; б) с прямыми ребрами

Принимая во внимание геометрическую форму моделируемых соединений, для создания пространственной геометрии наиболее рационально будет использование систем автоматизированного проектирования предназначенных для создания 3D моделей (САД систем), например программы Компас 3D, разработки группы компаний Аскон (Россия). Однако хотелось бы отметить, что нет принципиальной разницы, в каком графическом редакторе будет создаваться трехмерная модель, так как в последующем она будет передана в формат STEP.

STEP - это ISO-стандарт для компьютерного представления и обмена промышленными данными. Целью стандарта является обеспечение механизма описания данных продукта в течении всего его жизненного цикла, независимо от определенного программного обес-

печения. Чаще всего STEP используется для обмена данными между CAD, CAM, CAE и PDM-системами. Данные модели в формате STEP описываются с помощью языка EXPRESS, обмен данными осуществляется в форматах STEP-File, STEP-XML или через доступ к базе данных. В зависимости от прикладной области, описание модели определяется протоколом приложения (Application Protocol). В частности, протокол AP203 соответствует конфигурации контролируемого 3D-проектирования.

В дальнейшем, посредством обменного формата геометрия будет передана в модуль APM Studio входящий в состав программного комплекса APM WinMachine, разработанного компанией НТЦ АПИМ в г. Королев, Московской области. Модуль APM Studio предназначен для подготовки построенных моделей к прочностному и динамическому анализу, а также для выполнения расчетов и визуализации результатов этих расчетов.

APM Studio построен на базе собственного математического ядра «APM Engine». Ядро «APM Engine» служит для выполнения совокупности булевых операций над типовыми формообразующими элементами и хранения форматов геометрических элементов.

В состав APM Studio входят инструменты геометрического моделирования, подготовки сборок к расчёту, задания граничных условий и нагрузок, а также встроенные генераторы конечно-элементной сетки (как с постоянным, так и с переменным шагом).

После получения конечно-элементной сетки, производится передача её в модуль APM Structure3D. Модуль APM Structure 3D является базовым расчетным ядром системы APM WinMachine. Он обладает широкими возможностями для создания моделей конструкций, выполнения необходимых расчетов и визуализации полученных результатов. Использование этих возможностей позволит сократить сроки проектирования и снизить материалоемкость объекта, а также уменьшить стоимость проектных работ [1].

Для построения сборочной модели соединения в программе Компас 3D необходимо отдельно создать модель нагеля и бруса с пазом, созданным нагелем. Для этого достаточно двух операций. Первая процедура – «выталкивание» - предназначена для создания замкнутых объемов правильной формы типа «цилиндр» и «параллелепипед», а вторая - «кинематическая операция» - для создания винтовых поверхностей. Используя выше перечисленный функционал, были созданы нагель и деревянный брус. После создания отдельных моделей в режиме «сборка» создаем сборочную единицу из ранее построенных отдельных деталей (рисунок 2).

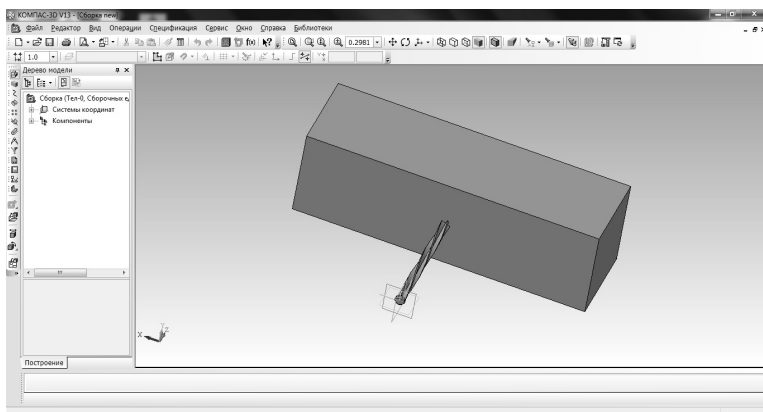


Рисунок 2 – 3D модель сборочной единицы соединения «нагель-брус», созданная в программе Компас

Заключительным этапом в работе с 3D графическим редактором является импортирование модели в обменный формат STEP.

Для подготовки геометрической модели к последующему конечно-элементному анализу воспользуемся модулем APM Studio. Импортируем ранее сохраненный файл формата STEP.

Использованные граничные условия, в процессе построения сборочной модели в графическом пакете, не могут быть использованы при расчете, так как не имеют жесткостных характеристик в нормальных и касательных направлениях. Поэтому в модуле APM Studio необходимо выполнить процедуру автоматического определения зон взаимодействия деталей друг с другом – контактных зон.

В качестве типа контактного взаимодействия выбираем – «Жесткий контакт». Данный вид контакта соответствует наличию общих винтовых плоскостей нагеля и дерева, а также закусывания металлического нагеля волокнами дерева.

Определение жесткостных характеристик будет выполнен автоматически модулем APM Studio, исходя из жесткостных характеристик материалов элементов сборочной единицы.

Предпоследним этапом постановки задачи является задание силовых факторов путем указания поверхности и величины нагрузки.

Наиболее ответственным этапом является назначение размера конечного элемента, на которые будет произведено разбиение модели.

При неверном задании размера объемного конечного элемента возможно получение погрешности вплоть до 50 %.

Для генерации конечно-элементной сетки модулем APM Studio будут использованы 4-х узловые элементы с 3-мя степенями свободы в каждом узле. Шаг сетки на нагеле составит 1 мм (при данном размере тетраэдра мы получим не менее двух слоев солидов по сечению), на деревянном бруске 2 мм (такой малый размер необходим для корректного взаимодействия с нагелем).

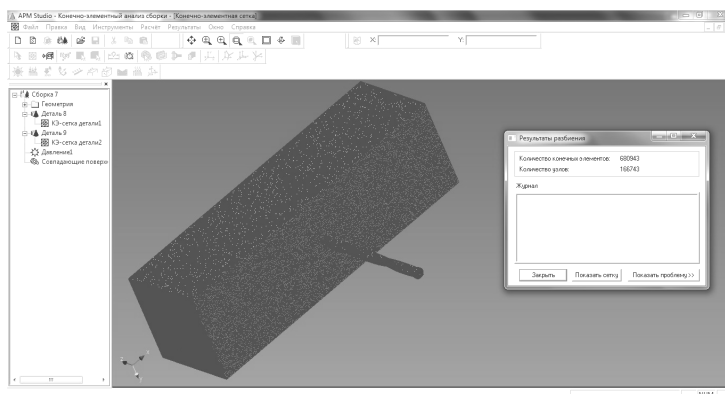


Рисунок 3 – Твёрдотельная модель соединения «нагель-брус», созданная в модуле APM Studio.

После присвоения нагелю и деревянному бруску необходимого типа материала, выполняем проверку твердотельной модели на отсутствие совпадающих элементов, а также элементов с нулевым объемом.

Заключительным этапом построения твердотельной конечно-элементной модели соединения «нагель-брус» в модуле APM Studio (рисунок 3) является создание закрепления бруса и различных вариантов силового воздействия на нагель в рамках проводимого модельного эксперимента.

Расчет соединения стального нагеля с деревянным брусом на выдергивание проводится после сохранения модели в модуле APM Structure 3D. Вид спереди созданной модели с расстоянием между опорами в 400 мм приведен на рисунке 4.

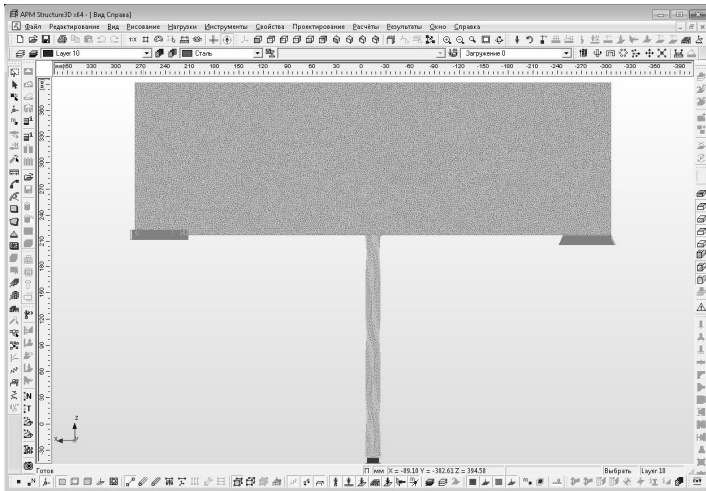


Рисунок 4 – Твердотельная модель соединения «нагель-брус», подготовленная к расчету в модуле APM Structure 3D

После выполнения расчета может быть реализована визуализация результатов модельного эксперимента в виде карт с изолиниями. На рисунках 5, 6 для наглядности представлены карты распределения напряжений по Мизесу в нагеле и брус для нагрузки выдергивания в 9 кН.

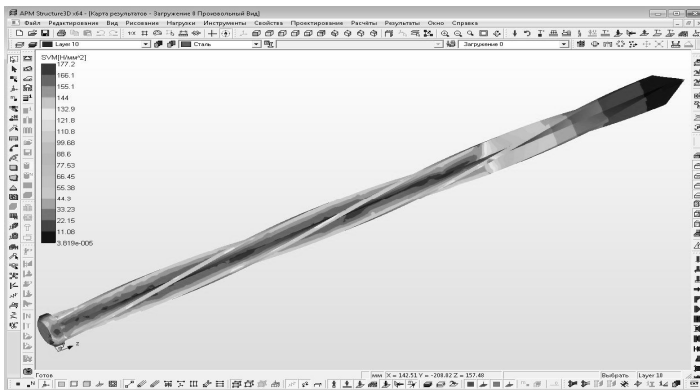


Рисунок 5 - Карта распределения эквивалентных напряжений в нагеле

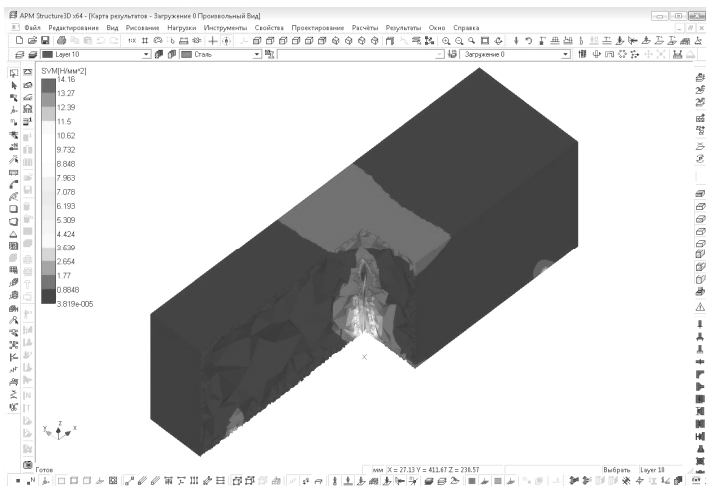


Рисунок 6 - Карта распределения эквивалентных напряжений в бруске внутри паза

Результаты модельного эксперимента имеют хорошую сходимость с результатами натуральных испытаний [2], а предложенный подход решения контактных задач с применением отечественных CAD/CAE систем заслуживает внимания при выполнении расчетов на прочность соединений строительных конструкций.

Список литературы:

1. Горелов, С. Н. Расчет пространственных стержневых конструкций в системах автоматизированного проектирования / С. Н. Горелов, И. В. Руднев, А. Ю. Казак // Компьютерная интеграция производства и ИПИ технологии : сб. материалов 4-й всерос. науч.-практ. конф. – Оренбург : ИПК ГОУ ОГУ, 2009. – С. 333-336.
2. Столповский, Г. А. О соединениях деревянных элементов на стальных крестообразных нагелях / Г. А. Столповский, И. В. Руднев, В. Н. Шведов // Сборник трудов 3-й всероссийской научно-технической конференции, посвященной 80-летию НГАСУ (Сибстрин) / ред. Г. К. Найденова. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. – С. 87-89.
3. Замрий, А.А. Проектирование и расчет методом конечных элементов трехмерных конструкций в среде APM Structure 3D / А.А. Замрий. - М.: Издательство АИПМ. 2004. - 208 с.