

МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛА С ДРЕВЕСИНОЙ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

Соболев М.М., Руднев И.В., Абрамов В.А.

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Применение вклеенных в древесину стальных связей широко используется в соединениях элементов деревянных конструкций. Одним из наиболее эффективных видов таких соединений является устройство стыков с помощью вклеенных в древесину стержней из арматуры периодического профиля и стальных пластин (стык системы ЦНИИСК). Расчет и проектирование таких стыков изложен в своде правил СП 64.13.330.2011 «Деревянные конструкции» и трудах разработчиков универсального стыка [1].

Точное аналитическое решение задачи по определению НДС клеевого соединения стальных связей при их работе на выдергивании из массива древесины в трехмерной постановке на сегодняшний день отсутствует. Однако существуют расчетные схемы плоской деформации, они относятся к краевой задаче теории упругости для конечных канонических областей с угловыми точками границы и ребрами жесткости. Решения представлены в виде явных разложений по собственным функциям краевой задачи – функциям Фадля-Папковича [3]. Разложения какой-либо функции по той или иной системе функций Фадля-Папковича можно рассматривать, как обобщение разложений в тригонометрические ряды Фурье, а решение краевых задач в виде разложений по этим функциям – как обобщение разложений Файлона-Рибьера. В то же время, полученные аналитические решения достаточно сложны и трудоемки [4, 5].

Моделирование и расчет такого соединения в программном комплексе ANSYS, который обладает обширным набором инструментов и, тем самым, обеспечивает высокую точность получаемых результатов, позволяет уйти от громоздкого математического решения при сохранении его достаточной достоверности.

Рассмотрим создание конечно-элементной модели в программном комплексе ANSYS. Возможности данного комплекса позволяют учитывать анизотропию древесины. Модель создана с использованием элемента SOLID-185, который ориентирован на трехмерное твердотельное моделирование конструкций, образован восемью узлами с тремя степенями свободы каждый. Данный тип элемента позволяет описать деформацию материала с учетом пластичности, ползучести и в условиях как больших, так и незначительных перемещений и деформаций. SOLID-185 обладает 3 типами геометрии: гексаэдр, призма и тетраэдр, причем использование последних двух в рассматриваемой задаче не рекомендуется. В связи с тем, что элементы клеевого соединения представляют гексаэдр, выбор данного элемента позволяет более точно распределить конечно-элементную сетку, что соответственно повысит точность расчета модели.

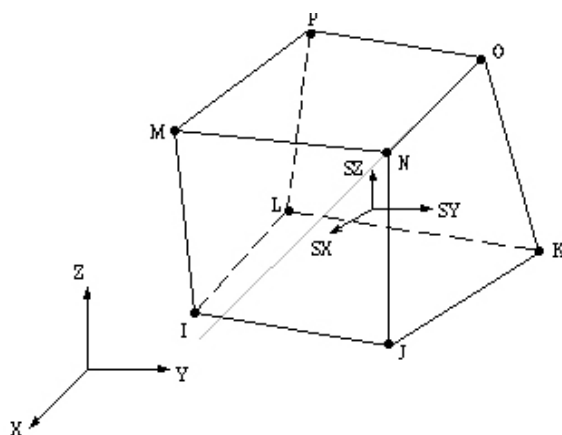


Рисунок 1 – Конечный элемент SOLID185 и направление компонент напряжений в глобальной системе координат

Конечно-элементная модель растянутого стыка, созданная в программном комплексе ANSYS, показана на рисунке 2.

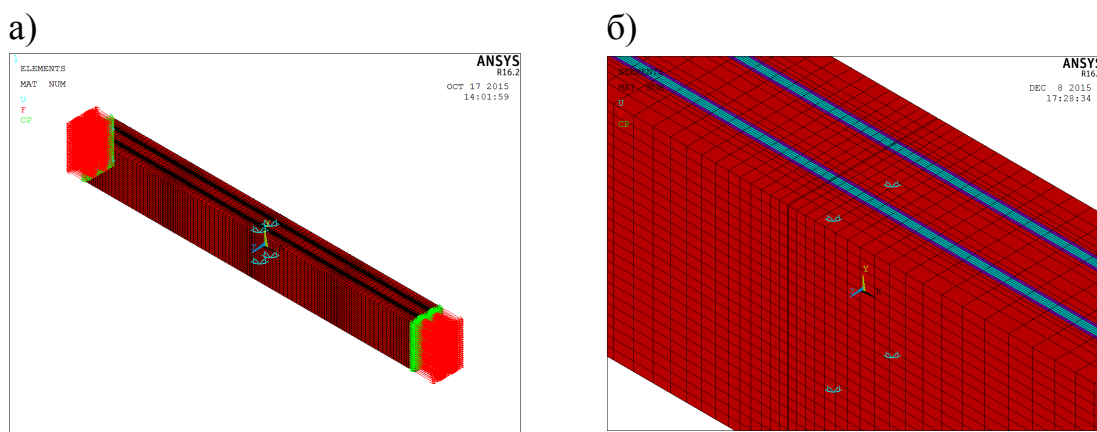


Рисунок 2 – Общий вид конечно-элементной модели растянутого стыка в ПК ANSYS (а) и область сопряжения деревянных элементов (б)

До проведения расчета в модель вводились следующие физико-механические и упругие характеристики материалов, принятые по результатам испытаний материалов [6]:

- стальная пластина – сталь Ст3пс (модуль упругости – 210 000 МПа; коэффициент Пуассона – 0,3, модуль сдвига – 81 000 МПа);
- деревянный брус – сосна 2-го сорта (модуль упругости вдоль волокна – 12 000 МПа, поперек волокна – 490 МПа, коэффициент Пуассона поперек волокон – 0,315, вдоль волокон – 0,347, модуль сдвига вдоль и поперек волокон – 500 МПа);
- клей – эпоксидная композиция (модуль упругости – 3000 МПа, коэффициент Пуассона – 0,017, модуль сдвига – 1250 МПа).

К созданной модели прикладывалась разрывная нагрузка в 90 кН, что соответствует расчетной нагрузке для узла такого типа.

Результаты расчёта конечно-элементной модели растянутого стыка приведены в виде карт с изоуровнями. На рисунке 3 показано распределение касательных напряжений в деревянных элементах соединения.

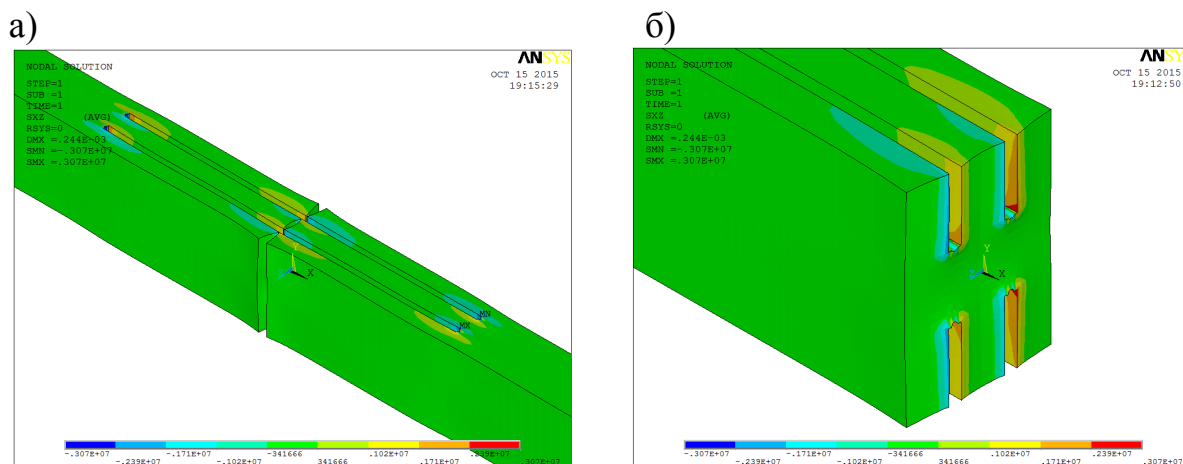


Рисунок 3 – Распределение касательных напряжений в древесине:
а) в зоне вклейки пластин; б) по торцу стыкуемого элемента

Далее, на рисунке 4, представлена карта распределения нормальных напряжений, действующих вдоль продольной оси стыка, в стальных пластинах и клеевой композиции.

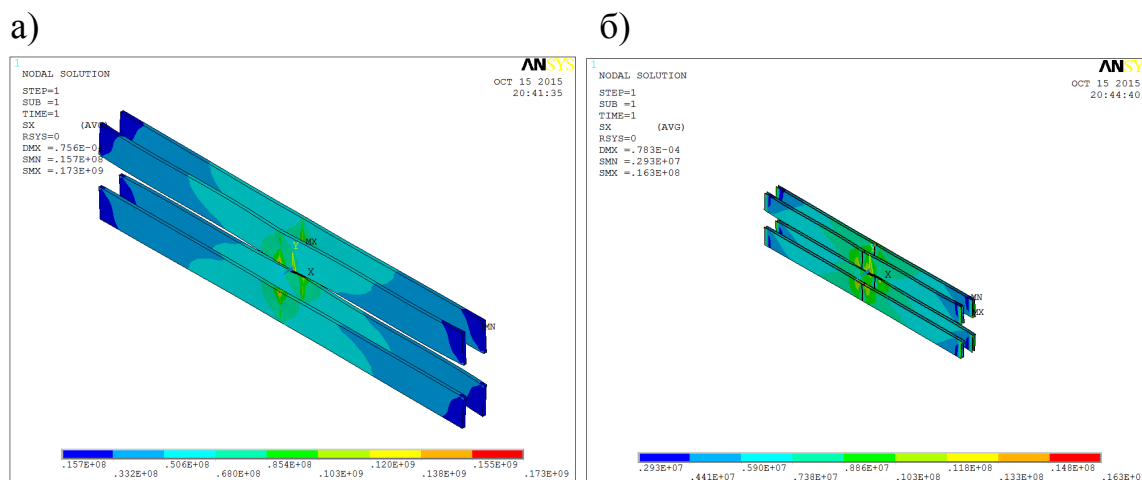


Рисунок 4 – Распределение нормальных напряжений:
а) в стальных пластинах; б) в клеевой композиции в пластине

Следует отметить, что уровень касательных напряжений в древесине по контактной поверхности со стальной пластиной соответствует уровню напряжений, возникающих в соединении при приложении расчетной нагрузки.

На рисунке 5 представлена карта распределения перемещений вдоль продольной оси стыка в пластинах и в древесине, максимальные значения которых очень малы и свидетельствуют о принадлежности исследуемого клеевого соединения к соединениям жесткого типа.

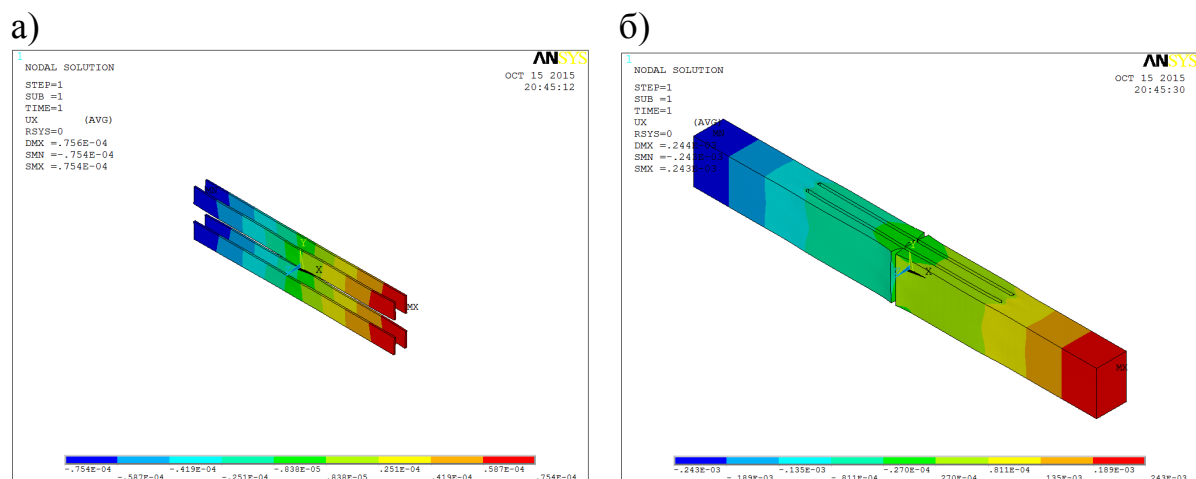


Рисунок 5 – Распределение перемещений вдоль продольной оси стыка:
а) в пластинах; б) в деревянных элементах

Полученные результаты хорошо коррелируются с выводами аналитических расчетов, что позволяет судить как о корректности созданной модели, так и о возможности дальнейшего исследования и моделирования подобных соединений в программном комплексе ANSYS.

Список литературы

1. Турковский, С.Б. Клеенные деревянные конструкции с узлами на вклеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК) – С.Б. Турковский, А.А. Погорельцев, И.П. Преображенская / Под общей редакцией С.Б. Турковского и И.П. Преображенской. — М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ». 2013. — 308 с. - ISBN 978-5-94026-023-3.
2. Коваленко, М. Д., Меньшова И. В. Аналитические решения двумерных краевых задач теории упругости в конечных областях с угловыми точками границы // Чебоксары: изд-во Чуваш. гос. пед. ун-та, 2014. – 123 с.
3. Руднев, И.В., Жаданов В.И. Выдергивание стальных пластин, вклеенных в древесину. Аналитический расчет и эксперимент // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – Чебоксары: 2015. – №3. – С. 109 – 121.
4. Гаврилов, А. А. Расчет прочности тонкостенных стержней при изгибных колебаниях с помощью фиктивных нагрузок / А. А. Гаврилов, Н. А. Морозов, Ю. Л. Власов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2014. - №1(162). – С. 167-170.
5. Руднев, И.В., Жаданов В.И. Методика расчета соединений элементов деревянных конструкций на вклеенных стальных пластинах. // Вестник Оренбургского государственного университета. – Оренбург: 2015. – №5. – С. 155 – 161.