

КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ И НДС СОЕДИНЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА СТАЛЬНЫХ ВКЛЕЕННЫХ ПЛАСТИНАХ

**Руднев И.В., Жаданов В.И., Абрамов В.А., Соболев М.М.
Оренбургский государственный университет, г. Оренбург**

Применение клеенных в древесину стальных изделий широко используется в соединениях элементов деревянных конструкций. Одним из наиболее эффективных видов таких соединений является устройство стыков с помощью клеенных в древесину стержней из арматуры периодического профиля и стальных пластин (стык системы ЦНИИСК). Расчет и проектирование таких стыков изложен в СП 64.13.330.2011 «Деревянные конструкции» [1]. Расход металла в стыках на наклонно клеенных стержнях большепролетных конструкций на порядок меньше, чем в стыке в виде нагельных соединений и клеестальных шайб. Кроме того, применение клеенных в древесину стержней дает возможность использовать этот вид соединения как конструктивный элемент при сопряжении древесины с другими конструкционными материалами [2].

Еще более широкие возможности для дальнейшего конструирования стыков с различным назначением открываются в случае применения вместо стальных стержней круглого поперечного сечения стальных пластин. Такая замена позволила бы применять в стыках только пластинчатые элементы. При этом появилась бы возможность экономии металла в результате оптимизации геометрической формы самой клеенной пластины [3,4].

В связи с отсутствием в литературе подтвержденных экспериментами сведений о деформативности и прочности соединений на клеенных стальных пластинах с механообработкой поверхностей, исследование соединения на клеенных в древесину пластинах выполнялось по следующим этапам: проведение предварительных испытаний на выдергивание, позволяющих принципиально оценить прочностные качества соединения; выбор параметров экспериментальных образцов, их изготовление и испытания; создание и расчет конечно-элементной модели образца; сравнение результатов эксперимента и численного решения; оценка НДС элементов соединения.

Предварительные испытания на выдергивание пластин из стали СтЗпс, клеенных на эпоксидную композицию между брусками из сосны 2-го сорта показали следующее [5]:

- несущая способность клееного соединения «древесина - стальная пластина» при нанесении на поверхности пластины сплошь пазов и надрезов глубиной 1 мм соизмерима с несущей способностью пластины;
- при изготовлении образцов с клееными стальными пластинами для исследования на выдергивание и соединений, работающих на растяжение, особое внимание следует уделять соосности плоскостей элементов соединения;
- проектирование и изготовление растянутого стыка элементов деревянных конструкций на клеенных стальных пластинах с конструктивно

ослабленными сечениями в свободной части пластин следует выполнять с учетом несущей способности пластины в этих сечениях;

- толщину бруска в соединении необходимо рассчитывать из условия его работы на растяжение с изгибом, с введением поправочного коэффициента на увеличение изгибающего момента за счет несоосности элементов соединения.

С учетом накопленного опыта была изготовлена партия образцов с вклеенными между брусков из сосны 2-го сорта сечением 40x40 мм пластин из стали Ст3пс с размерами сечения 40x4 мм (смотри рис. 1).

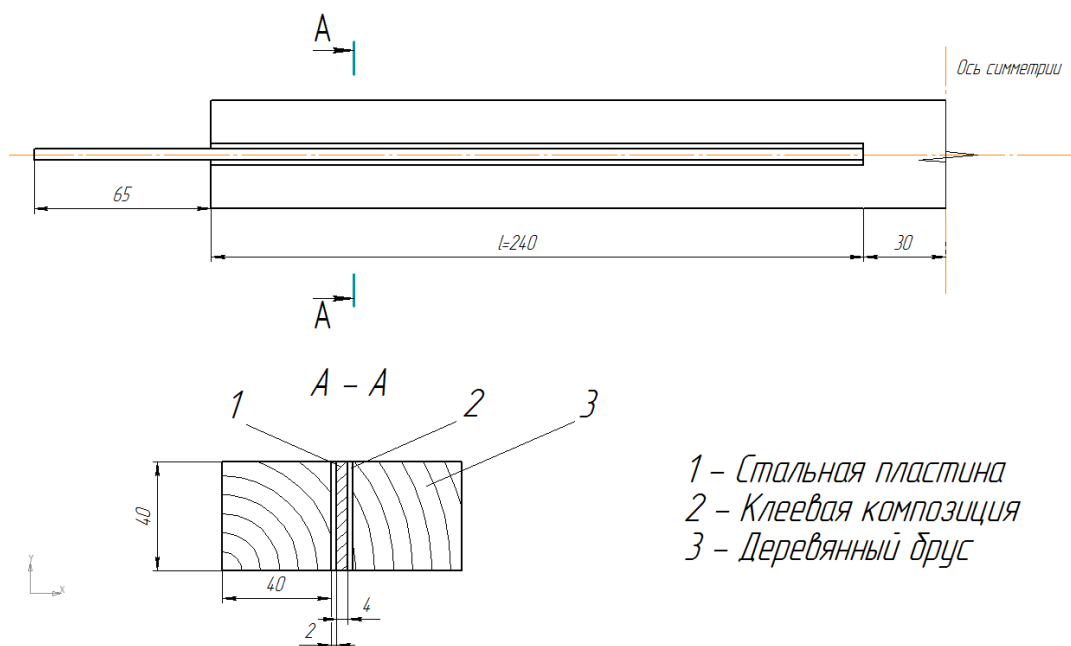


Рисунок 1 - Эскиз экспериментального образца

Для увеличения адгезии по контакту клей-металл обе поверхности пластин были развиты пазами глубиной 1 мм шириной 10 мм, нанесенные в шахматном порядке на вертикально-фрезерном станке с шагом 40 мм. Длина вклеенной части пластины принималась с учетом рекомендаций п. 7.36 [1], в которых минимальная длина заделываемой части круглого стержня l равна 10-ти его диаметрам. Фактически в формуле 7.36 расчетная несущая способность соединения T зависит от длины линии контакта клея с древесиной, определяемой выражением $d_1\pi$, где d_1 – диаметр отверстия под стержень в древесине.

$$T = R_{ск} d_1 \pi l k_c \quad (1)$$

В нашем случае длина линии контакта клея с древесиной будет равна удвоенной ширине пластины - $2b$ и составит 80 мм. Приравнивая длину линии контакта клея с древесиной для круглого стержня 80-ти мм, определим условный диаметр отверстия, который в соответствии с п. 7.33 [1] больше диаметра самого стержня на 4 мм (удвоенная толщина клеевой прослойки). Значение условного диаметра отверстия с учетом округления до целого числа $d_{1y} = 26$ мм, стержня - $d_y = 22$ мм. Принимая длину вклеенной части пластины

равной 10-ти условным диаметрам стержня, округлим искомое значение длины в большую сторону с условием кратности значению ширины пластины 40 мм. Из этих соображений длина вклеенной части в изготавливаемых образцах составила $6b = 240$ мм.

Определение возможной, с учетом замены стержней круглого поперечно сечения на пластину, расчетной несущей способности экспериментального соединения по формуле (1) представляется следующим образом. Принимаем значение расчетного сопротивления древесины скалыванию по поз. 5г таблицы 3 [1] $R_{ск} = 2,1$ МПа. Подставляем вместо выражения $d_1 \pi l$ в формулу (1) площадь контакта клея с древесиной в экспериментальном соединении $2bl = 0,0192$ м². Коэффициент k_c , учитывающий неравномерность распределения напряжений сдвига, определяем по формуле:

$$k_c = 1,2 - 0,02 \frac{l}{d} \quad (2)$$

где, $d = d_y = 22$ мм.

Расчетное значение несущей способности соединения с учетом полученного коэффициента $k_c = 0,29$ составило 12,0 кН.

Испытания на выдергивания проводились на испытательной машине ИР 5082-100 с программным обеспечением «MaxTest», позволяющим устанавливать постоянную скорость перемещения подвижной траверсы от 0 до 500 мм/мин, а также в режиме реального времени визуализировать диаграммы испытаний, в том числе, в координатах «нагрузка - удлинение».

Испытания образцов показали, что разрушение одного из двух клеевых соединений «сталь-древесина», имеющих в каждом образце, происходило при значении выдергивающей нагрузки в пределах от 19 до 25 кН, что в среднем в 2 раза превышает ожидаемую (расчетную) несущую способность, определенную ранее. Этот факт в первом приближении объясняется малым значением вычисленного расчетного коэффициента k_c , который эмпирически зависит от принятого условного диаметра. При определении несущей способности клеевого соединения пластины с древесиной есть основания в дальнейшем увязать в формуле (2) значение коэффициента k_c с шириной пластины.

Параллельно выполнялись работы по созданию конечно-элементной модели экспериментального образца в системе автоматизированного проектирования APMCivilEngineering (г. Королев, Московская область, Россия) и в программном комплексе ANSYS (г. Канонсберг, штат Пенсильвания, США). Инструментарий обоих программных продуктов позволяет учитывать анизотропию материалов. Узлы конечно-элементной сетки в зоне контакта компонентов соединения приняты абсолютно жесткими, что соответствует работе соединения в упругой области без учета возможных технологических дефектов. К созданным конечно-элементным моделям прикладывалось экспериментально полученное среднестатистическое значение разрушающей нагрузки в 20 кН. Модели, созданные в программных комплексах APM Civil

Engineering и ANSYS представлены на рисунке 2. Результаты вычислений напряжений в древесине в программных комплексах APM Civil Engineering и ANSYS показаны на рисунках 3, 4.

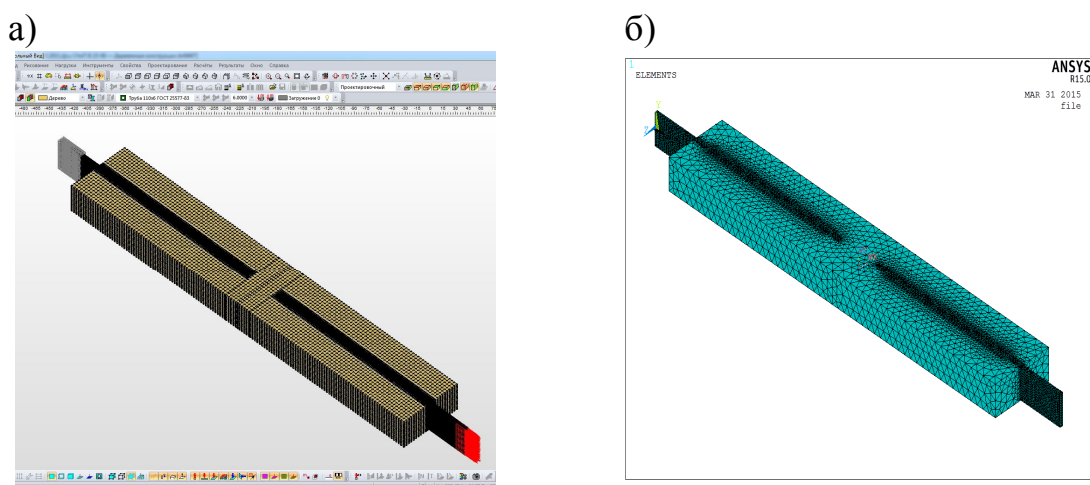
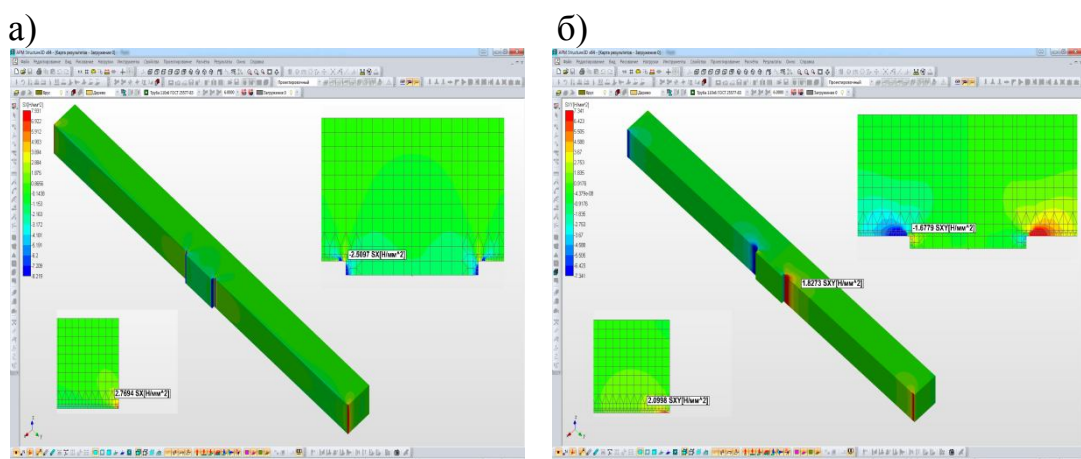


Рисунок 2 - Конечно-элементные модели образца программных комплексах: а) APMCivilEngineering; б) ANSYS

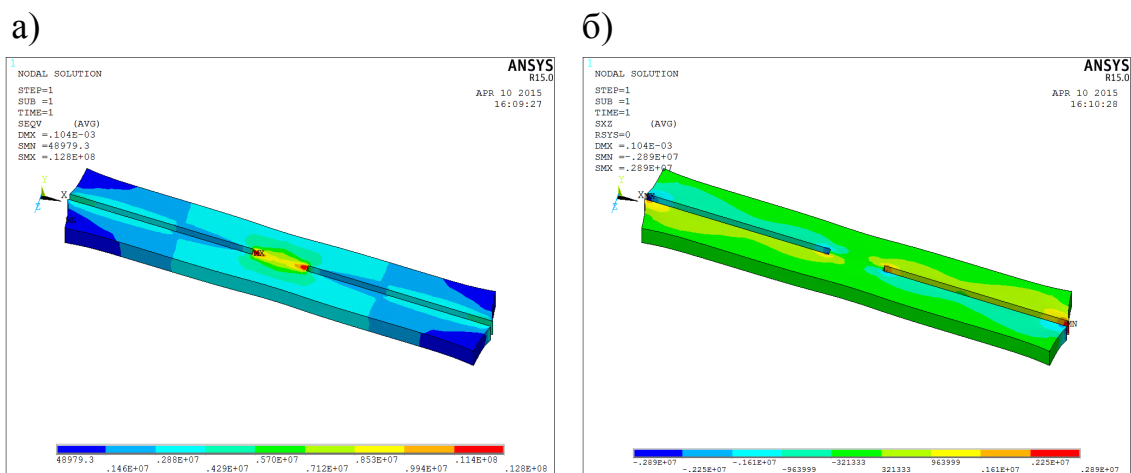


а) нормальных; б) касательных

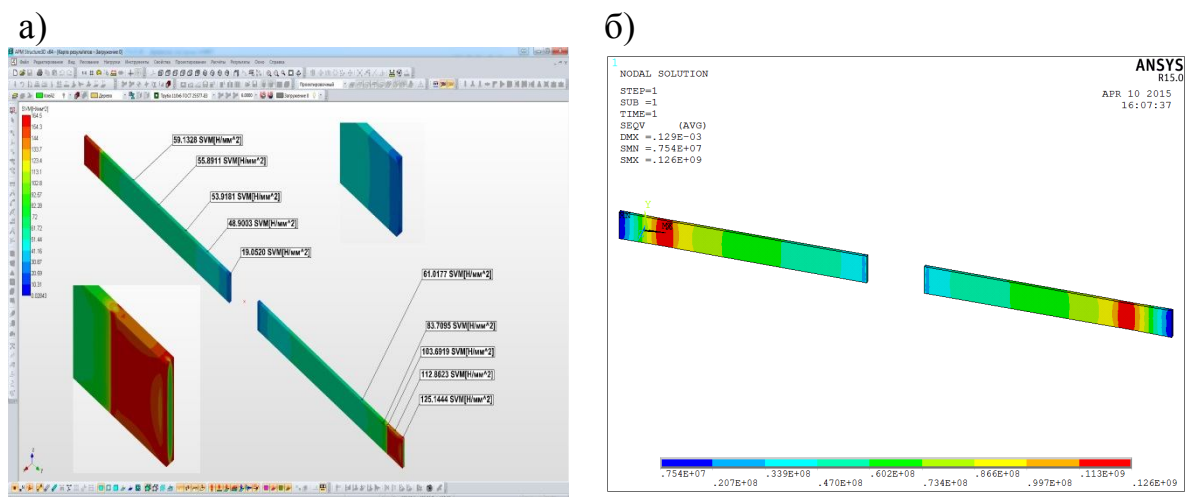
Рисунок 3 - Распределение напряжений в бруске, полученные в ПК APM Civil Engineering

Значения нормальных и касательных напряжений в древесине, полученные в программных комплексах APM Civil Engineering и ANSYS, совпадают с точностью до 3%, что свидетельствует о корректности построения конечно-элементных моделей.

Значения эквивалентных напряжений в клеевом слое и стальной пластине, подсчитанные в программных комплексах APM Civil Engineering и ANSYS, также совпадают с точностью до 1,5%. В свою очередь, отмеченные результаты вычислений напряженно-деформированного состояния коррелируются с результатами натуральных экспериментов.



а) нормальных; б) касательных
 Рисунок 4 - Распределение напряжений в бруске, полученные в ПК ANSYS



а) полученные в APM Civil Engineering; б) полученные в ПК ANSYS
 Рисунок 5 - Карта распределения эквивалентных напряжений в пластине:

Анализ результатов экспериментов, в том числе предварительных, и численных исследований показал следующее:

- несущая способность клевого соединения деревянных элементов со стальными пластинами на выдергивание в целом соизмерима с несущей способностью других компонентов соединения при условии развития поверхности пластин для обеспечения необходимой адгезии по поверхности «сталь-клеевая композиция» и соблюдения технологических требований при изготовлении соединений;

- расчет параметров и несущей способности соединения на вклеенных пластинах, выполняемый в соответствии с нормами СП 64.13330.2011 для соединений на вклеенных стержнях, требует корректировки;

- результаты численных расчетов модели экспериментального образца в программных комплексах APM Civil Engineering и ANSYS совпадают с

точностью до 3 %, что позволяет сделать вывод о корректности созданных моделей;

- характер распределения и значения напряжений по длине элементов соединения, полученный в программных комплексах APM Civil Engineering и ANSYS, соответствует теоретическим и экспериментальным данным, полученным как в ходе эксперимента. так и в аналогичных исследованиях соединений на стальных вклеенных стержнях круглого сечения;

- уровень напряжений по контакту «клей-древесина» при нагрузке разрушения экспериментального образца, определенный в программных комплексах, на 25...30 % ниже соответствующих расчетных сопротивлений, что подтверждается наличием разрушения по контакту «клей-древесина» только у 30 % образцов на отдельных участках.

Соответствие результатов экспериментальных и численных исследований подтверждает возможность использования программных комплексов для поиска оптимальных параметров клевого соединения стальных пластин с древесиной, в том числе, реальных стыков и узлов деревянных конструкций.

Настоящие исследования показали, что примененный поэтапный подход к решению задачи многофакторного анализа, какой является задача расчета и проектирования соединений элементов деревянных конструкций на стальных вклеенных пластинах, научно обоснован и экономически целесообразен.

Список литературы

- 1. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная версия СНиП II-25-80. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко – институт ОАО «НИЦ «Строительство». М.: 2011. 87 с.*
- 2. Турковский, С.Б. Клееные 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.*
- 3. Руднев, И.В. Соединения элементов деревянных конструкций с применением вклеенных стальных пластин – И.В. Руднев, В.И. Жаданов, С.В. Лисов - Известия ВУЗов. Строительство, 2014, №4. - С. 5-12 - ISSN 0536-1052.*
- 4. Руднев, И.В. К вопросу применения вклеенных металлических пластин в соединениях деревянных конструкций – И.В Руднев, В.И. Жаданов, П.А. Дмитриев - Строительная наука-2014: теория, образование, практика, инновации: Сборник трудов междунар. научно-техн. конф., г. Архангельск, 22-23 мая 2014г. - Архангельск: Изд-во ООО "Типография "ТОЧКА", 2014. - С.309-314 - ISBN 978-5-903764-72-3.*
- 5. Применение вклеенных стальных пластин в узлах деревянных конструкций – И.В. Руднев, В.И. Жаданов, Г.А. Столповский - В сб.: Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании. - М.: МГСУ, 2014, С. 111-116.*