

УДК 624.078.4

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ВКЛЕЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ШАЙБАХ

Д.О. Мартышкин, Н.В. Колесников, А.В. Меркушов, А.В. Шибяев

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС),
г. Пенза, Российская Федерация

e-mail: historical95@mail.ru, Ko1esnikov.1998@list.ru, merkushov.av@mail.ru, shibaev-83@mail.ru

Рассмотрены вопросы численного моделирования напряженно-деформированного состояния соединений на клеенных металлических и стеклопластиковых шайбах в программном комплексе ANSYS. Выполнено численное моделирование образцов с клееными шайбами. Результаты численного моделирования представлены в виде характерных линий распределения напряжений. Установлено влияние материала и параметров шайб на напряженно-деформированное состояние соединения. Выполнен анализ полученных результатов.

Ключевые слова: *деревянные конструкции, соединение, напряженно-деформированное состояние, несущая способность, шайба, металл, стеклопластик.*

THE RESULTS OF NUMERICAL SIMULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF JOINTS OF WOODEN STRUCTURES ON GLUED METAL AND FIBERGLASS WASHERS

D. Martyshkin, N. Kolesnikov, A. Merkuшов, A. Shibaev

Penza State University of Architecture and Construction (PSUAS), Penza, Russian Federation

e-mail: historical95@mail.ru, Ko1esnikov.1998@list.ru, merkushov.av@mail.ru, shibaev-83@mail.ru

The issues of numerical simulation of the stress-strain state of joints on glued metal and fiberglass washers in the ANSYS software package are considered. Numerical simulation of samples with glued washers is performed. The results of numerical simulation are presented in the form of characteristic stress distribution lines. The influence of the material and parameters of the washers on the stress-strain state of the joint has been established. The analysis of the obtained results is performed.

Keywords: *wooden structures, connection, stress-strain state, bearing capacity, washer, metal, fiberglass.*

Введение. Проектирование, моделирование и расчет соединений несущих деревянных конструкций (далее ДК) является первоочередной задачей при создании различных архитектурных форм [1].

В современном деревянном строительстве наиболее распространёнными решениями узловых соединений ДК являются клеенные стержни по «системе ЦНИИСК», клеенные пластины, металлические зубчатые пластины (МЗП), шпонки и шайбы [2-8].

Соединения ДК на клеенных шайбах позволяют решить основные недостатки вышеперечисленных соединений: неразъемность и неремонтопригодность, а применение стеклопластиковых шайб обеспечивает коррозионную стойкость соединения. Натурные испытания показали высокую несущую способность образцов на клеенных металлических и стеклопластиковых шайбах [9-13]. Далее необходимо рассмотреть напряженно-деформированное состояние соединений с клееными шайбами.

Моделирование и расчет. Рассматриваемое соединение представляет собой деревянный элемент (доска, брус), с клееными в него с двух противоположных сторон стеклопластиковыми шайбами. Для соединения деревянных элементов с клееными шайбами принят металлический болт/шпилька. Усилие на элемент передается через сдвиговые силы, действующие на клеенные шайбы.

Дерево и стеклопластик являются ортотропными материалами, металлический болт изотропный. Шайбы, воспринимающие усилия с центрального болта, передают контактные усилия на деревянный элемент не только по всему периметру клеенных шайб, но и по их площади. Для исследования НДС соединений на клеенных стеклопластиковых шайбах было выполнено моделирование опытных образцов, с геометрическими и механическими параметрами, идентичными натурным образцам [11–13] (рисунок 1).

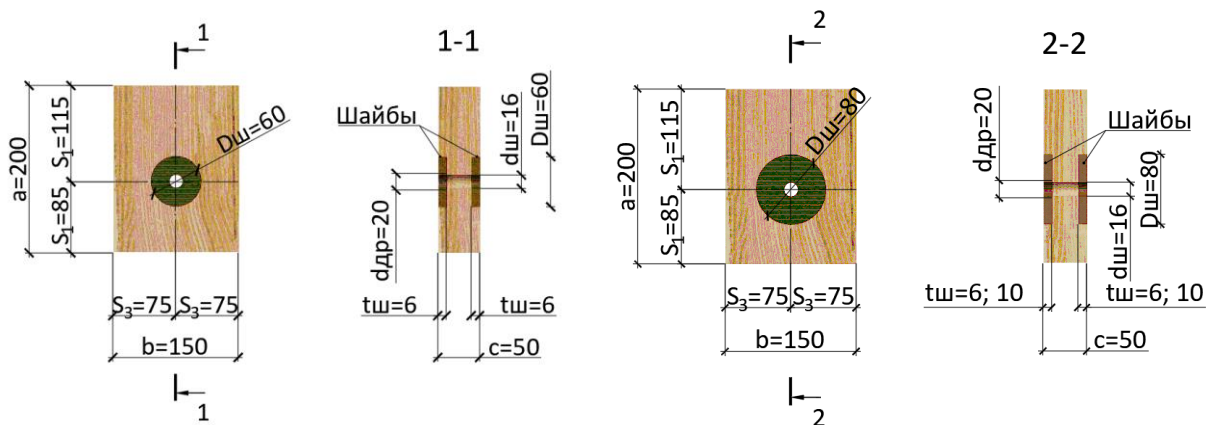


Рисунок 1. – Параметры образцов на клеенных шайбах

При создании моделей за основу приняты размеры и результаты натурных испытаний образцов на клеенных металлических и стеклопластиковых шайбах [11–13] серии ВШ-60-6 (диаметр шайб 60 мм, толщина 6 мм), ВШ-80-6, ВШ-80-10 (диаметр шайб 80 мм, толщина 6 и 10 мм).

Численное моделирование образцов было произведено в ПК ANSYS [14]. Объемная конечно-элементная модель, схема приложения нагрузки и граничные условия образцов с клееными стеклопластиковыми шайбами представлены на рисунке 2.

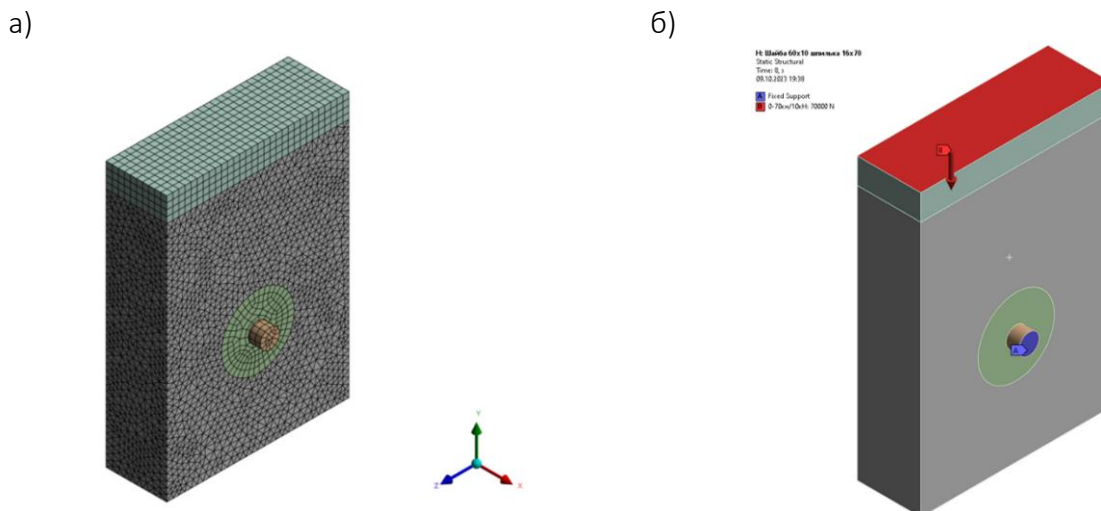


Рисунок 2. – Объемная конечно-элементная модель (а), схема приложения нагрузки и граничные условия (б)

Моделирование материалов соединения осуществлялось посредством параметризации их физических свойств. Для деревянного элемента приняты табличные значения расчетных характеристик древесины сосны второго сорта (СП 64.13330.2017), для шайб – характеристики стеклотекстолита КАСТ-В приняты согласно ГОСТ 10292-74, для металлических шайб и стяжного болта – деформативные характеристики приняты согласно СП 16.13330.2017.

Необходимо рассмотреть напряженно-деформированное состояние образцов с вклеенными металлическими и стеклопластиковыми шайбами при одинаковых геометрических параметрах (диаметр и толщина шайбы). В [11; 12] установлено что разрушающая нагрузка образцов на вклеенных стеклопластиковых шайбах приняты при деформациях, не превышающих 2 мм (рисунок 3).

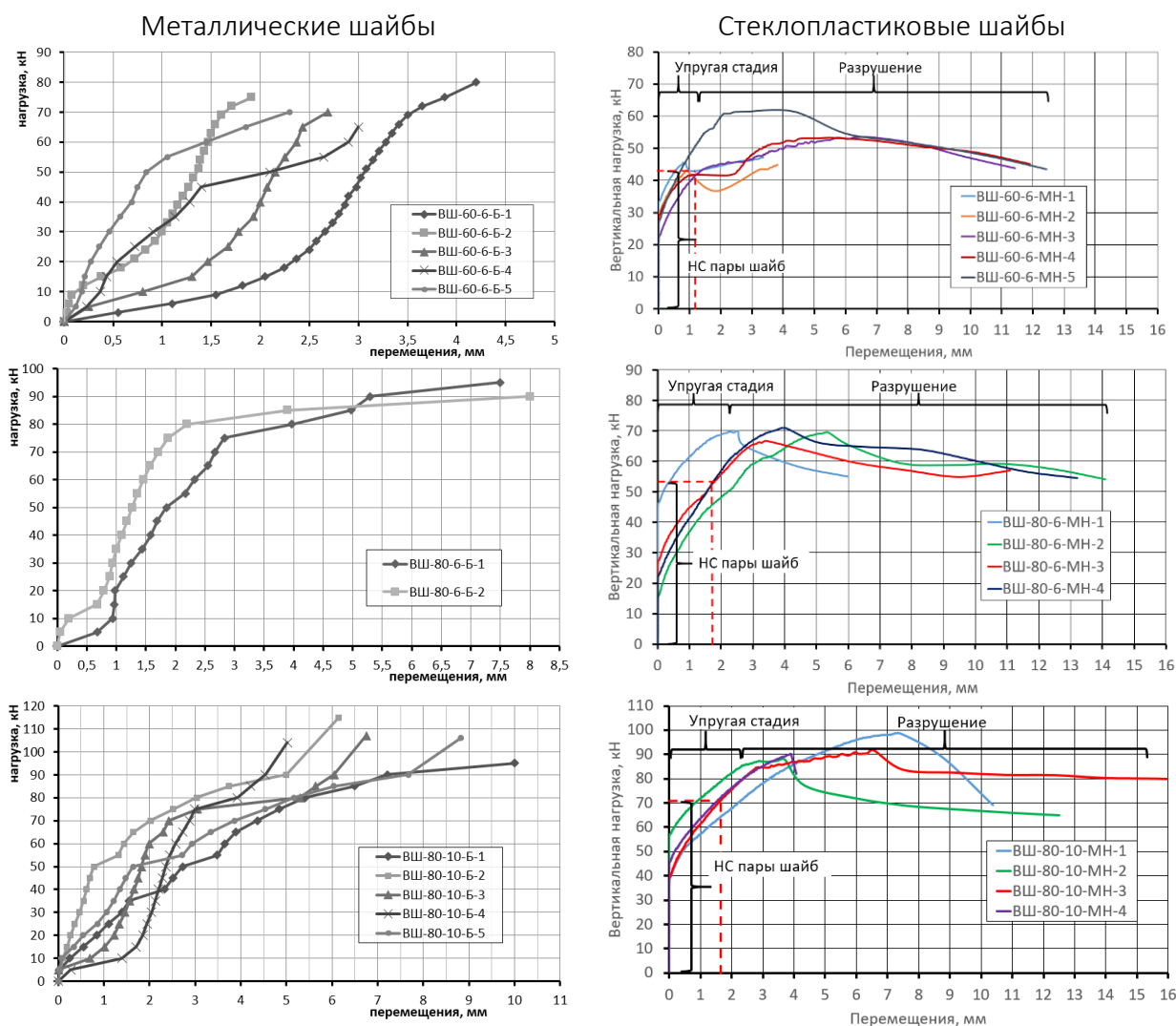


Рисунок 3. – Деформации сдвига в образцах на вклеенных металлических и стеклопластиковых шайбах

В связи с чем, среднюю разрушающую нагрузку (для образцов на металлических и стеклопластиковых шайбах) принимаем:

– металлические шайбы ВШ-60-6-МН – 56,25 кН, ВШ-80-6-МН – 62,5 кН, ВШ-80-10-МН – 60,0 кН;

– стеклотекстолитовые шайбы ВШ-60-6-Б – 43,42 кН, ВШ-80-6-Б – 52,61 кН, ВШ-80-10-Б – 70,43 кН.

Следует отметить, графики деформаций сдвига в образцах на клеенных металлических шайбах представлены для трехсоставных образцов, для стеклопластиковых шайб – односоставные. Вместе с тем в [10-13] установлено, что результаты испытаний трехсоставных и односоставных образцов незначительно отличаются. На этом основании принята модель односоставного образца (см. рисунок 2).

При моделировании образцы нагружались ступенчато с шагом 1,0 кН от 0 до значений средней разрушающей нагрузки, полученных на при натурных испытаниях [11-13].

Для анализа НДС образцов необходимо рассмотреть распределение напряжений в деревянном элементе и шайбе согласно характерным линиям (рисунок 4).

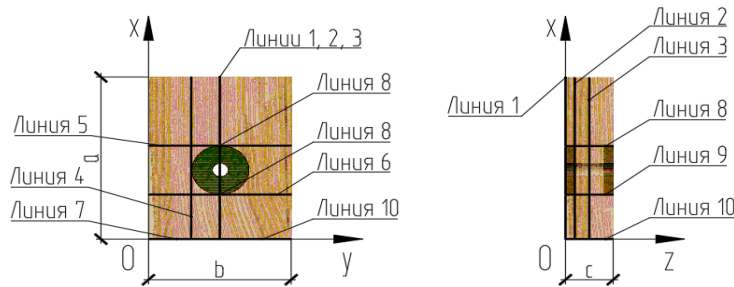


Рисунок 4. – Характерные линии напряжений

Рассмотрим распределение напряжений сжатия σ_y по линии 1, 2 с клееными металлическим и стеклопластиковыми шайбами диаметром 60 и 80 мм и толщиной 6 и 10 мм, возникающих в шайбе и древесине под центровым болтом вдоль линии действия нагрузки (рисунки 5–7).

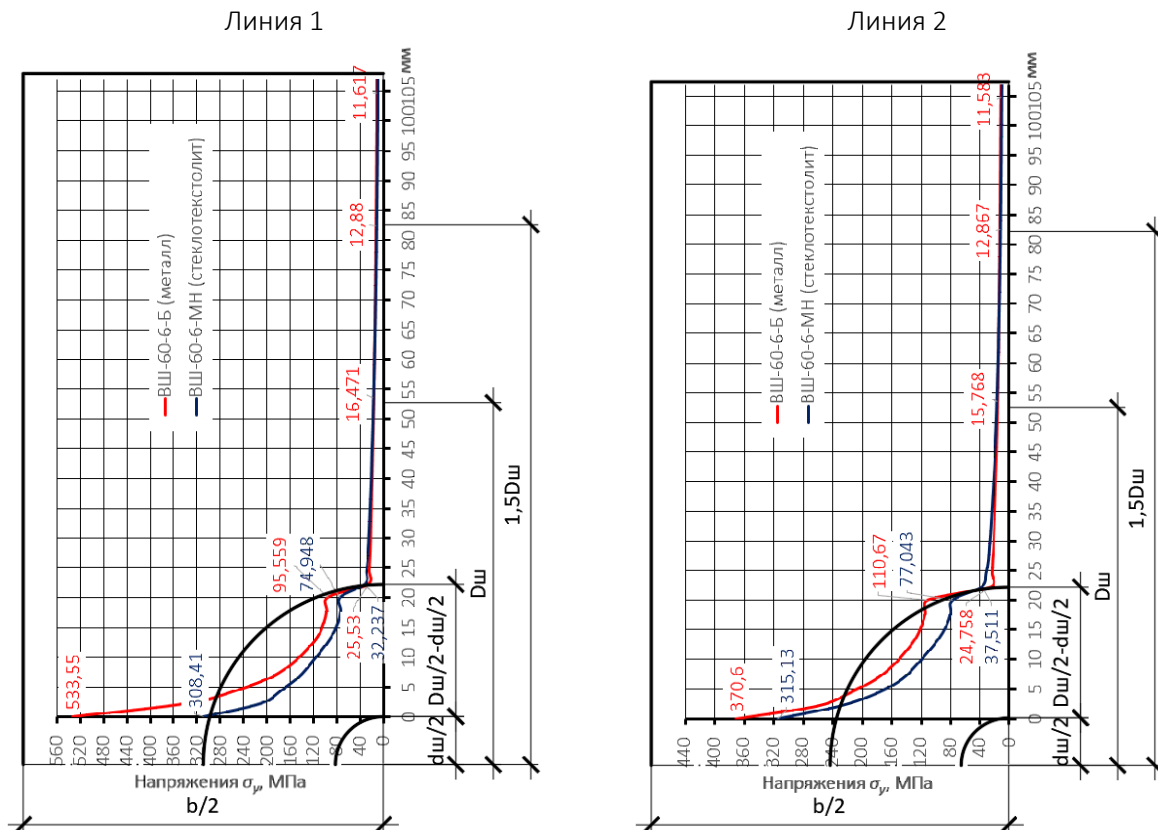


Рисунок 5. – Распределение вертикальных напряжений сжатия σ_y по линии 1, 2 в образцах с клееными шайбами диаметром 60 мм и толщиной 6 мм

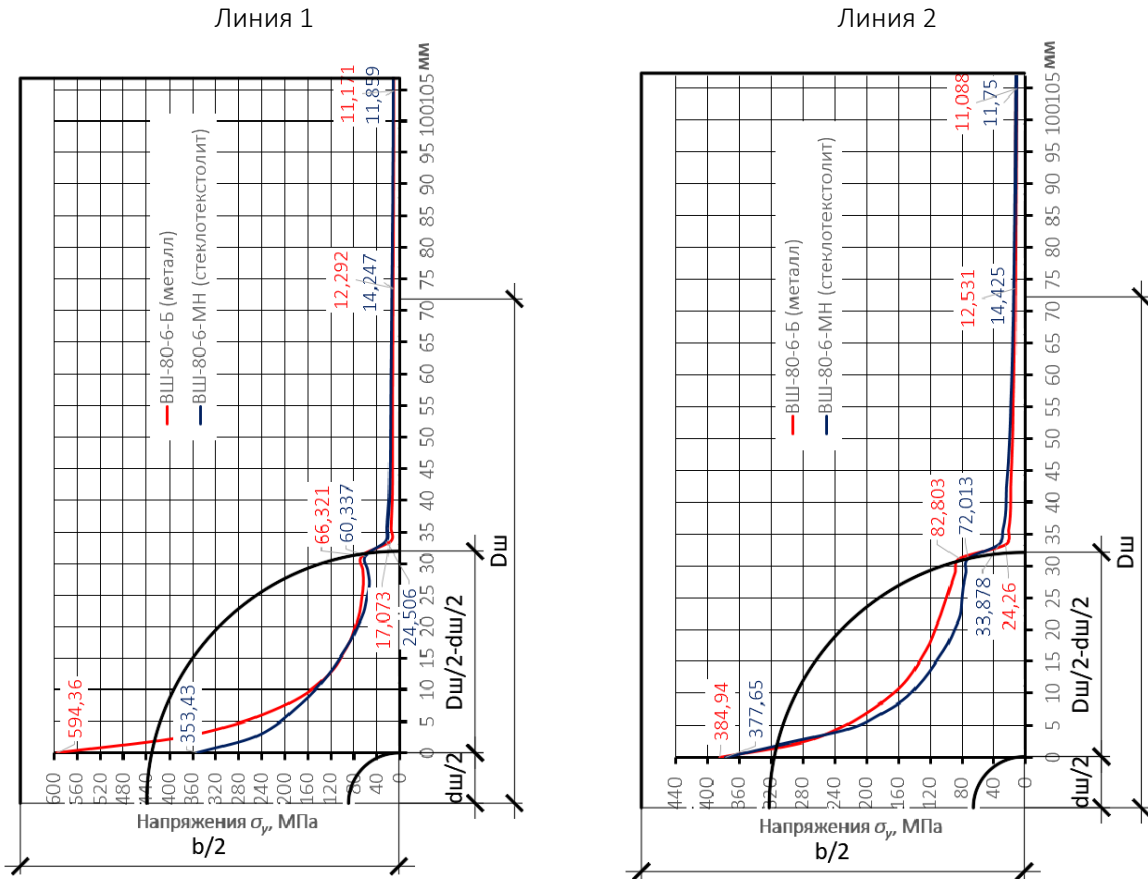


Рисунок 6. – Распределение вертикальных напряжений сжатия σ_y по линии 1, 2 в образцах с вклеенными шайбами диаметром 80 мм и толщиной 6 мм

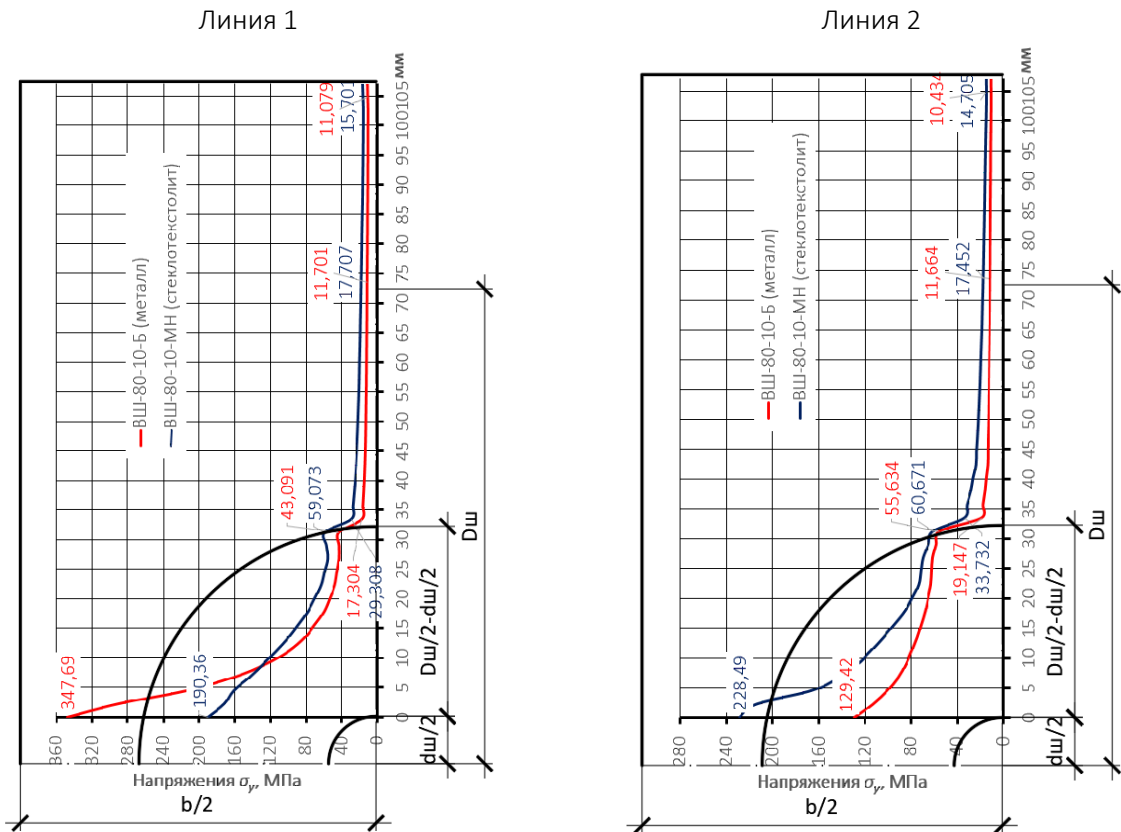


Рисунок 7. – Распределение вертикальных напряжений сжатия σ_y по линии 1, 2 в образцах с вклеенными шайбами диаметром 80 мм и толщиной 10 мм

Согласно рисунку 5-7 характер распределения напряжений сжатия σ_y образцов с клееными металлическими и стеклопластиковыми шайбами аналогичен.

Максимальные напряжения σ_y по линии 1,2 (рисунок 5-7) возникают в шайбах (под центровым болтом). Величины напряжений в металлических и стеклопластиковых шайбах по линии 1 значительно отличаются в точке $dш/2$ ($dш$ – диаметр центрального болта, равен 16 мм), что объясняется низкими прочностными и деформативными свойствами стеклотекстолита по сравнению с металлом. По линии 2 величины напряжений в образце с диаметром 60 мм и толщиной 6 мм отличаются на 15 %, для диаметра 80 и толщины 6 мм- величины напряжений аналогичны, для диаметра 80 и толщины 10 мм – значительно отличаются. Отличие величин напряжений в металлических и стеклопластиковых шайбах по линии 1 и 2 объясняется деформациями болта, при которых максимальные усилия возникают в точке $dш/2$, а также ортотропностью стеклотекстолита, в результате чего в стеклопластиковых шайбах величины напряжений меньше по сравнению с металлическими.

В точке $Dш/2-dш/2$ величины напряжений по линии 1 и 2 для диаметра 60 мм и толщины 6 мм отличаются на величину, не превышающую 30%. Для образцов с диаметром 80 мм и толщиной 6 мм величины напряжений отличаются на 10 и 12%. Для образцов с диаметром 80 мм и толщиной 10 мм величины напряжений отличаются на 27 и 8%. Также следует отметить, напряжения в образцах 80 мм и толщиной 6 и 10 мм с металлическими шайбами меньше по сравнению со стеклопластиковыми, в связи с меньшей средней разрушающей нагрузкой (см. рисунок 2). Величины напряжений по линии 1 и 2 в точке $Dш/2-dш/2$ уменьшаются с увеличением диаметра и толщины шайб – увеличивается площадь действия усилия с центрального болта.

В точке $Dш$ величины напряжений в образцах с клееными металлическими и стеклопластиковыми шайбами по линии 1 и 2 незначительно отличаются. С увеличением диаметра и толщины шайбы величины напряжений уменьшаются.

Заключение. На основе результатов моделирования напряженно-деформированного состояния образцов с клееными металлическими и стеклопластиковыми шайбами получена достоверная картина распределения напряжений в деревянном элементе и шайбах. Установлено влияние материала и параметров шайб на напряженно-деформированное состояние соединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.М. Гаппоев, И.М. Гуськов, Л.К. Ермоленко, В.И. Линьков, Е.Т. Серова, Б.А. Степанов, Э.В. Филимонов. Конструкции из дерева и пластмасс. – М: Издательство АСВ, 2004. – 440 с.
2. Турковский С.Б. Клееные деревянные конструкции с узлами на клеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК) / С.Б. Турковский, А.А. Погорельцев, И.П. Преображенская. – М.: РИФ «Стройматериалы», 2013. – 308 с.
3. Цапаев В.А. Коэффициент надежности соединений деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах / В.А. Цапаев, М.В. Колобов // Жилищное строительство, 2008. – №5. – С. 26-27.
4. Вдовин, В.М. Вклеенные кольцевые шпонки в соединениях деревянных конструкций / В.М. Вдовин, В.Н. Карпов, М.С. Галахов. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 171 с.
5. Пуртов В.В. Деревянные конструкции с соединениями на металлических пластинах и дюбелях / В.В. Пуртов, А.В. Павлик // Изв. вузов. Строительство. – 2007. № 4. – С. 13-20.
6. Римшин В.И. Соединения элементов деревянных конструкций на шпонках и шайбах / В.И. Римшин, Б.В. Лабудин, В.И. Мелехов [и др.] // Вестник МГСУ. – 2016. – № 9. – С. 35-50.
7. Линьков В.И. Конструкции на основе деревянных элементов составного сечения с соединениями на наклонных металлических стержнях без применения клея. // Промышленное и гражданское строительство. – М.: 2012. – № 11. – С. 29-31.
8. Вдовин, В.М. Вклеенные металлические шайбы в соединениях деревянных конструкций: монография / В.М. Вдовин, М.В. Арискин, Д.Д. Дудорова. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 184 с.

9. Вдовин, В.М. Коррозионностойкое немагнитное соединение элементов деревянных конструкций / В.М. Вдовин, Д.О. Мартышкин // Региональная архитектура и строительство. – 2019. – №4(41). – С. 103-108.
10. Арискин, М.В. Соединения на клеенных стеклопластиковых шайбах в деревянных конструкциях / М.В. Арискин, Д.О. Мартышкин // Региональная архитектура и строительство. – 2022. – №2(51). – С. 96-103.
11. Мартышкин, Д.О. Несущая способность соединений деревянных конструкций с клееными стеклопластиковыми шайбами различной толщины / Д.О. Мартышкин, М.В. Арискин // Региональная архитектура и строительство. – 2023. – №1(54). – С. 108-114.
12. Мартышкин, Д.О. Несущая способность соединений деревянных конструкций с различными параметрами клеенных стеклопластиковых шайб / Д.О. Мартышкин // Региональная архитектура и строительство. – 2024. – №3(60) – С.108-117.
13. Арискин М.В. Совершенствование клеиметаллических соединений деревянных конструкций с применением стальных шайб: дисс. канд. техн. наук: 05.23.01/ Арискин Максим Васильевич. – Пенза, ПГУАС, 2011. – 190 с.
14. Басов К.А. ANSYS для конструкторов. – М.: ДМК-Пресс, 2016, – 248 с.