

Метод определения характеристик локального НДС в элементах заклепочного соединения листов обшивки хвостовой балки вертолета транспортной категории

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»*

Разработан метод определения характеристик локального НДС в элементах заклепочного соединения с помощью системы ANSYS. Метод апробирован при расчёте локального НДС в элементах заклепочного соединения листов обшивки хвостовой балки вертолета транспортной категории.

Ключевые слова: заклепочное соединение, конечно-элементная модель, граничные условия, локальное НДС.

Многолетний опыт эксплуатации и испытаний на выносливость авиационных конструкций свидетельствует о том, что большое количество усталостных трещин появляется в окрестности нагруженных отверстий элементов заклепочных соединений планера воздушного судна (ВС) [1].

В связи с этим возникает интерес к изучению локального напряженно - деформированного состояния (НДС) элементов соединения в окрестности нагруженного отверстия, которое, как правило, приводит к более раннему возникновению усталостных трещин.

Анализ разрушенных соединений показывает, что очаг усталостного разрушения зарождается именно у отверстия на внутренней контактирующей стороне элемента, чем подтверждается необходимость определения локального НДС элементов соединения с учетом характера распределения контактных усилий по толщине элемента соединения [1].

Целью работы является разработка метода определения характеристик локального НДС в элементах заклепочного соединения листов обшивки хвостовой балки вертолета транспортной категории с учетом контактной нагрузки, возникающей в процессе образования заклепочного соединения и его нагружения.

Метод конечных элементов (и его практическая реализация в виде отдельных прикладных коммерческих программ) является наиболее распространенным в настоящее время методом исследования параметров НДС тел произвольной геометрии, находящихся в сложных условиях нагружения. Объясняется это единством подхода в описании моделируемого процесса, т.е. удобством формализации решаемой задачи, с одной стороны, и простотой реализации алгоритма на персональных компьютерах, с другой стороны.

Решение поставленной задачи получено с помощью системы ANSYS [2].

Метод определения характеристик локального НДС в элементах заклепочного соединения листов обшивки хвостовой балки (ХБ) вертолета включает в себя следующие этапы:

1. Выделение из модели хвостовой балки вертолета зоны исследуемого заклепочного соединения и его границ [3].

2. Выбор конструктивно - технологических параметров зоны, влияние на характеристики локального НДС которых необходимо исследовать.

3. Разработка расчетной схемы заклепочного соединения и схемы его

образования.

4. Создание трехмерной модели элементов заклепочного соединения.

5. Задание физико-механических характеристик материалов и присвоение их соответствующим элементам модели – соединяемым листам и заклепкам.

6. Построение конечно-элементной модели (КЭМ) элементов заклепочного соединения. Задание контактных пар исследуемой модели заклепочного соединения).

7. Задание граничных условий созданной КЭМ (условий симметрии и закрепление модели).

8. Приложение внешних нагрузок к созданной КЭМ.

9. Решение задачи – определение характеристик локального НДС и характера распределения напряжений в соединяемых элементах.

10. Анализ полученных результатов:

анализ локального НДС после моделирования процесса клепки;

анализ распределения напряжений в зонах вероятного разрушения после приложения внешнего нагружения;

выводы.



Рис. 1. Заклепочные соединения листов обшивки ХБ

На основе анализа результатов расчета характеристик общего НДС хвостовой балки вертолета, приведенных в работе [3], в качестве объекта исследования выбран образец продольного соединения листов обшивки ХБ вертолета транспортной категории (рис. 1) заключенный между стрингерами 4, 5 и шпангоутами 11,12 (рис. 2).

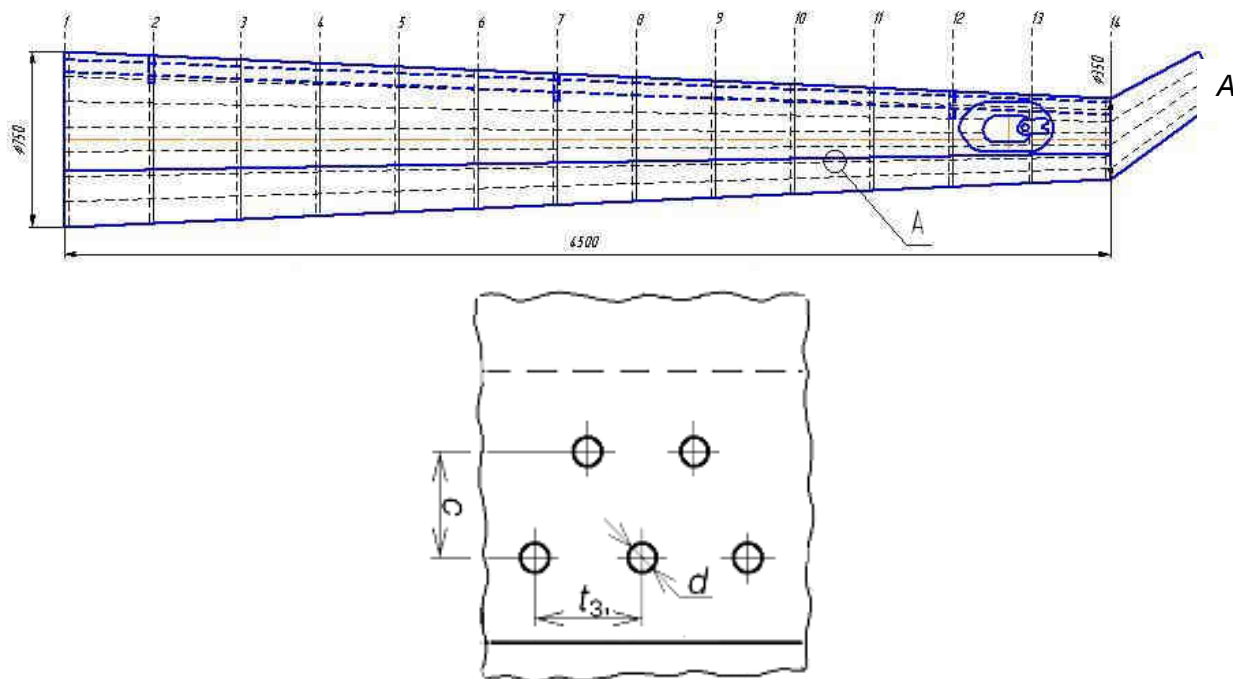


Рис. 2. Схема ХБ физической модели вертолета транспортной категории

В работе рассмотрено заклепочное соединения, выполненное заклепками ОСТ 1 11781-74 [4] диаметром 3 мм (рис. 3).

При анализе характеристик локального НДС данного односрезного заклепочного соединения (рис. 4) [5], не учитывали шероховатость обрабатываемой поверхности и дефекты (заусенцы), возникающие в процессе выполнения отверстий и установки заклепок. Коэффициенты сил трения, возникающих между элементами заклепочного соединения по поверхности контакта, во время выполнения анализа характеристик локального НДС были учтены.

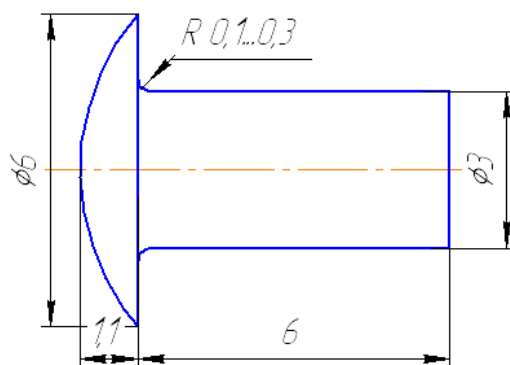


Рис. 3. Геометрические параметры заклепки ОСТ 1 11781-74

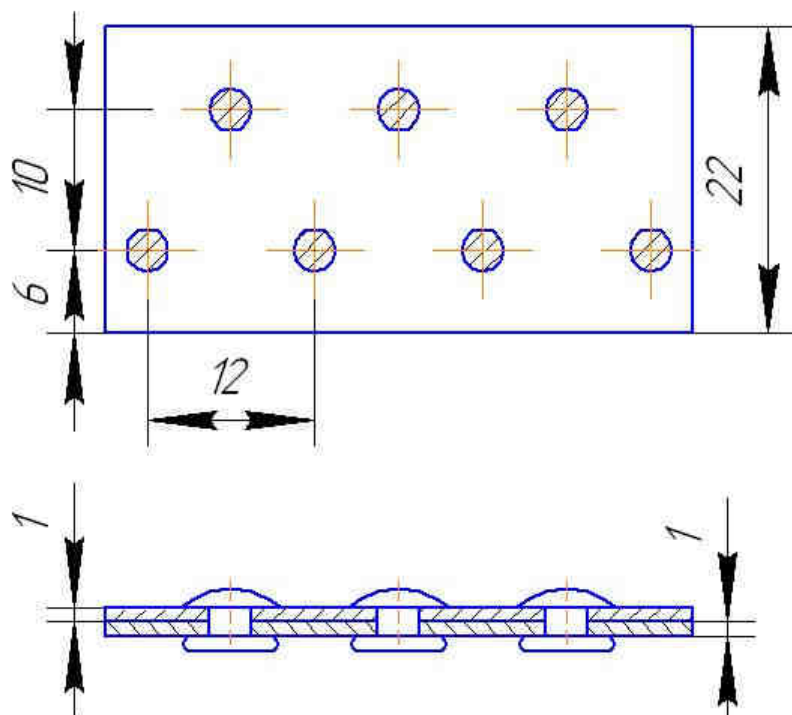


Рис. 4. Геометрические параметры образца заклепочного соединения

С учетом геометрической и силовой симметрии образца, а также изотропности свойств материала была смоделирована 1/2 часть образца заклепочного соединения. Действие отброшенных частей компенсировалось заданием соответствующих граничных условий симметрии. Граничные условия принимают в зависимости от расположения выделенной области в соединении, как показано на рис. 5.

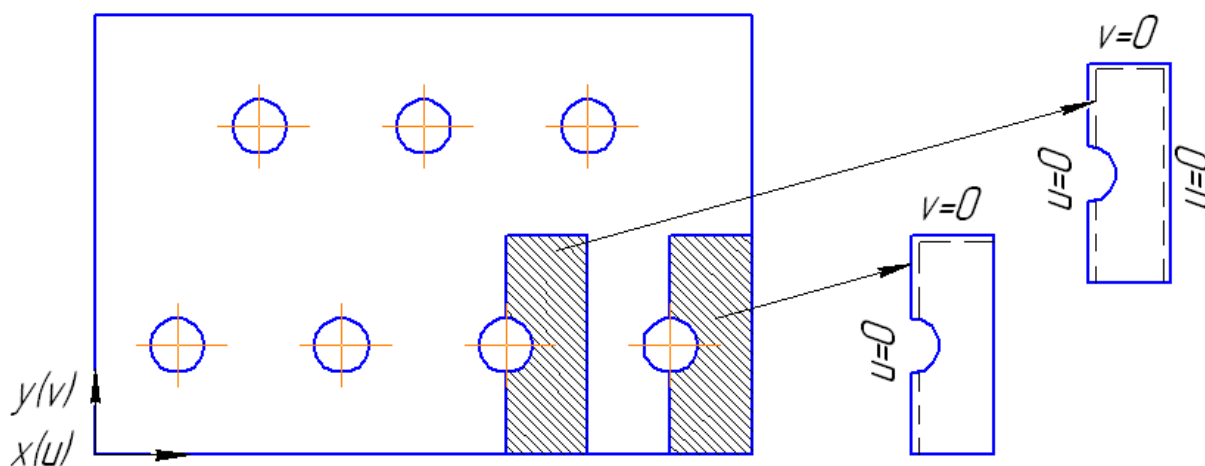


Рис. 5. Граничные условия

Исследуемый участок нагружен растягивающими напряжениями $\sigma_{рас}$. Расчетная схема исследуемой зоны заклепочного соединения листов обшивки показан на рис. 6.

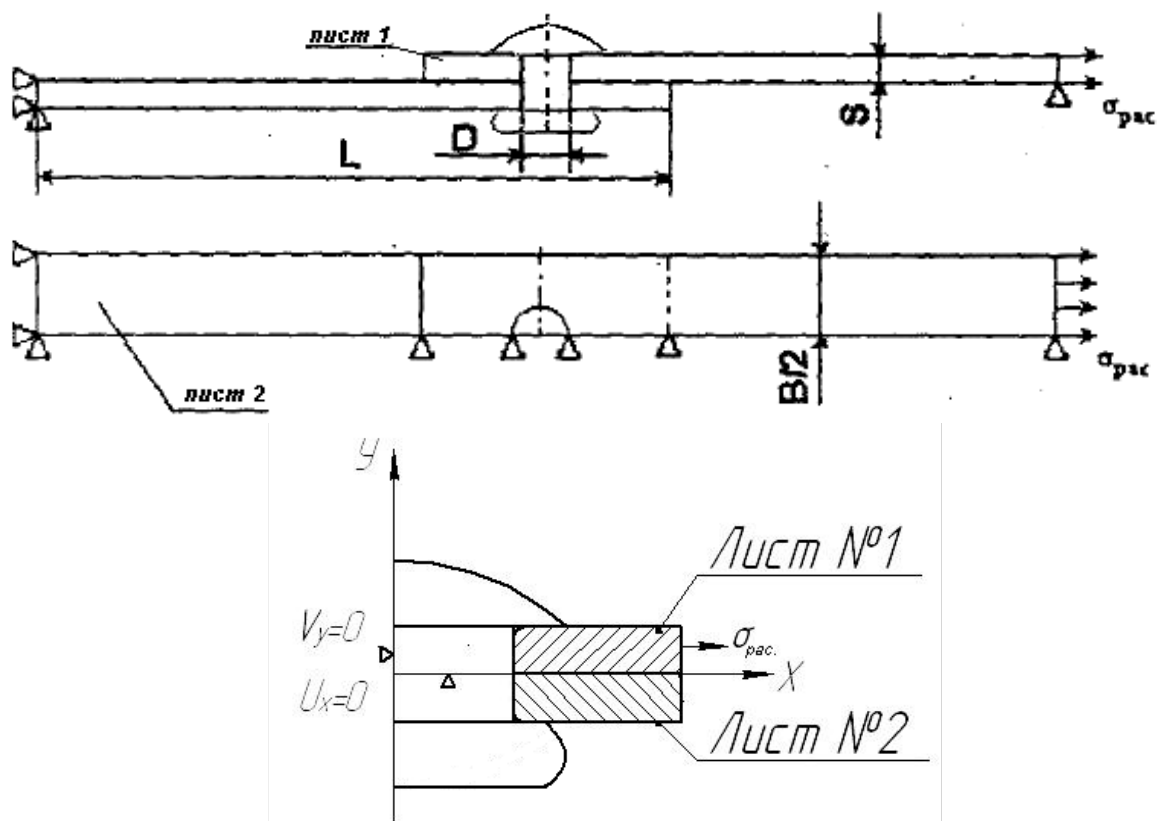


Рис. 6. Расчетная схема односрезного заклепочного соединения

Трехмерная модель элементов исследуемого заклепочного соединения показана на рис. 7.

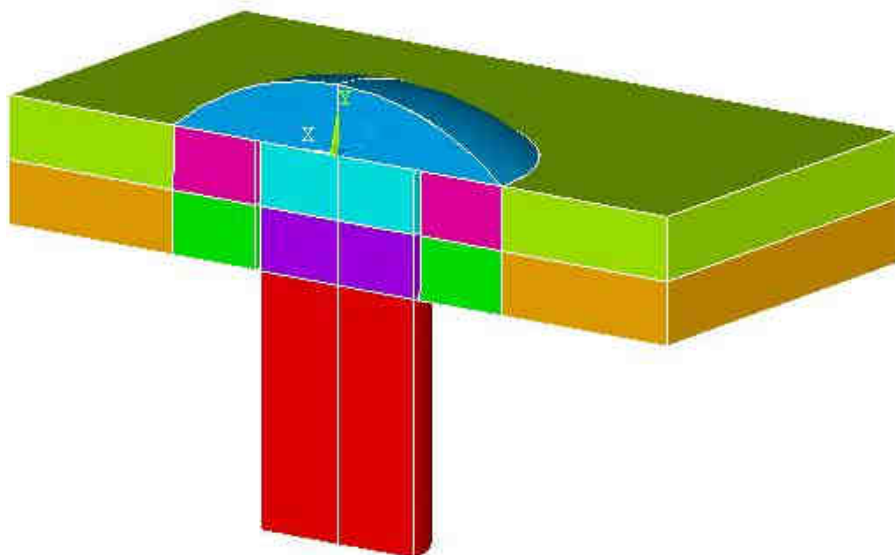


Рис. 7. Трехмерная модель элементов заклепочного соединения

Для определения упругой модели материала задается модуль упругости E_X и коэффициент Пуассона ν_{XY} .

Для решения поставленной задачи – моделирования процесса клепки, необходимо выбрать адекватную модель поведения материала при больших

деформациях. В качестве модели выбрана полилинейная модель описания области пластических деформаций и изотропный закон упрочнения, что характерно для больших пластических деформаций. Кривая деформирования материала показана на рис. 8.

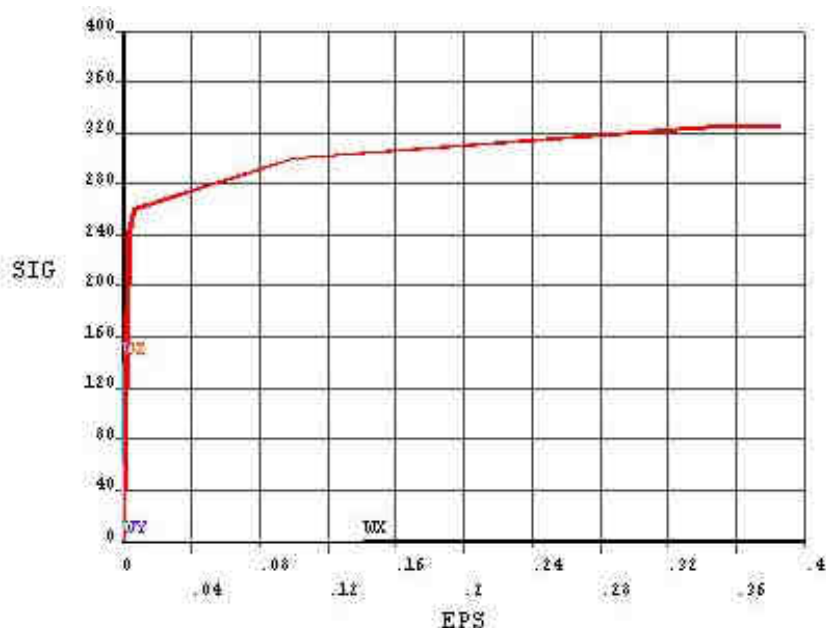


Рис. 8. Кривая деформирования материала

Созданная конечно-элементная модель рассматриваемого в работе заклепочного соединения нагружена и закреплена согласно разработанной расчетной схеме с помощью системы ANSYS,.

Конечно-элементная модель заклепочного соединения изображена на рис. 9.

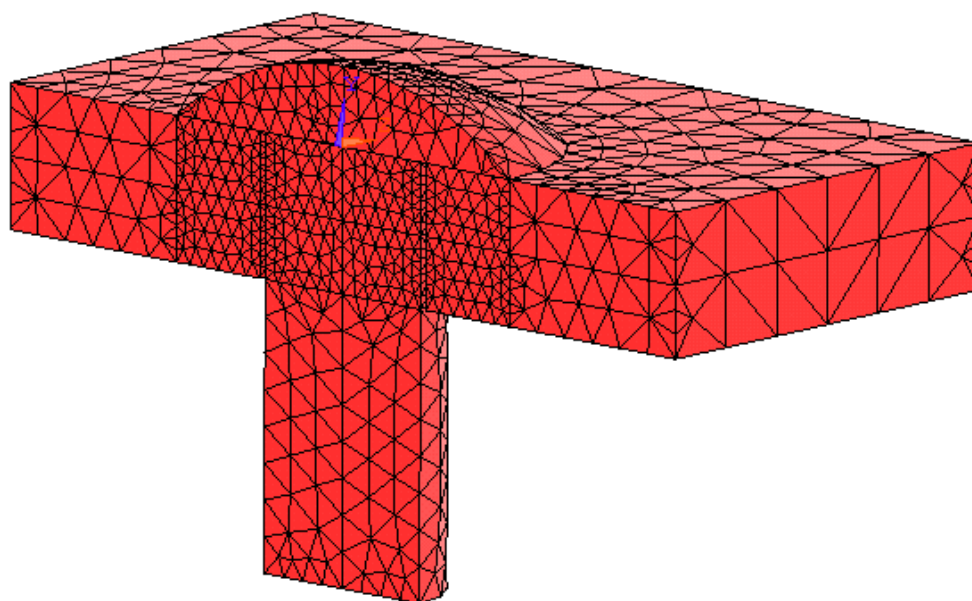


Рис. 9. Общий вид КЭМ моделируемого заклепочного соединения

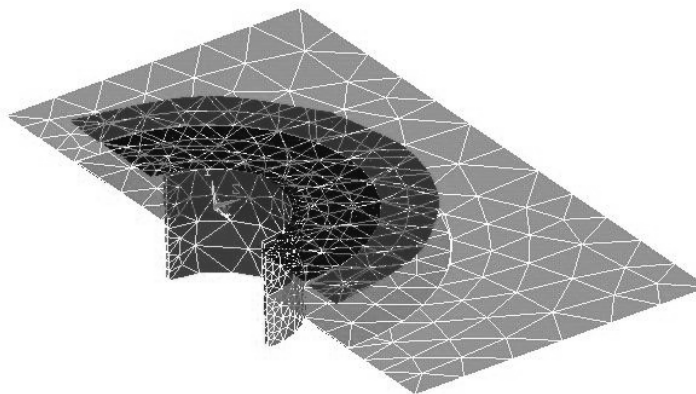
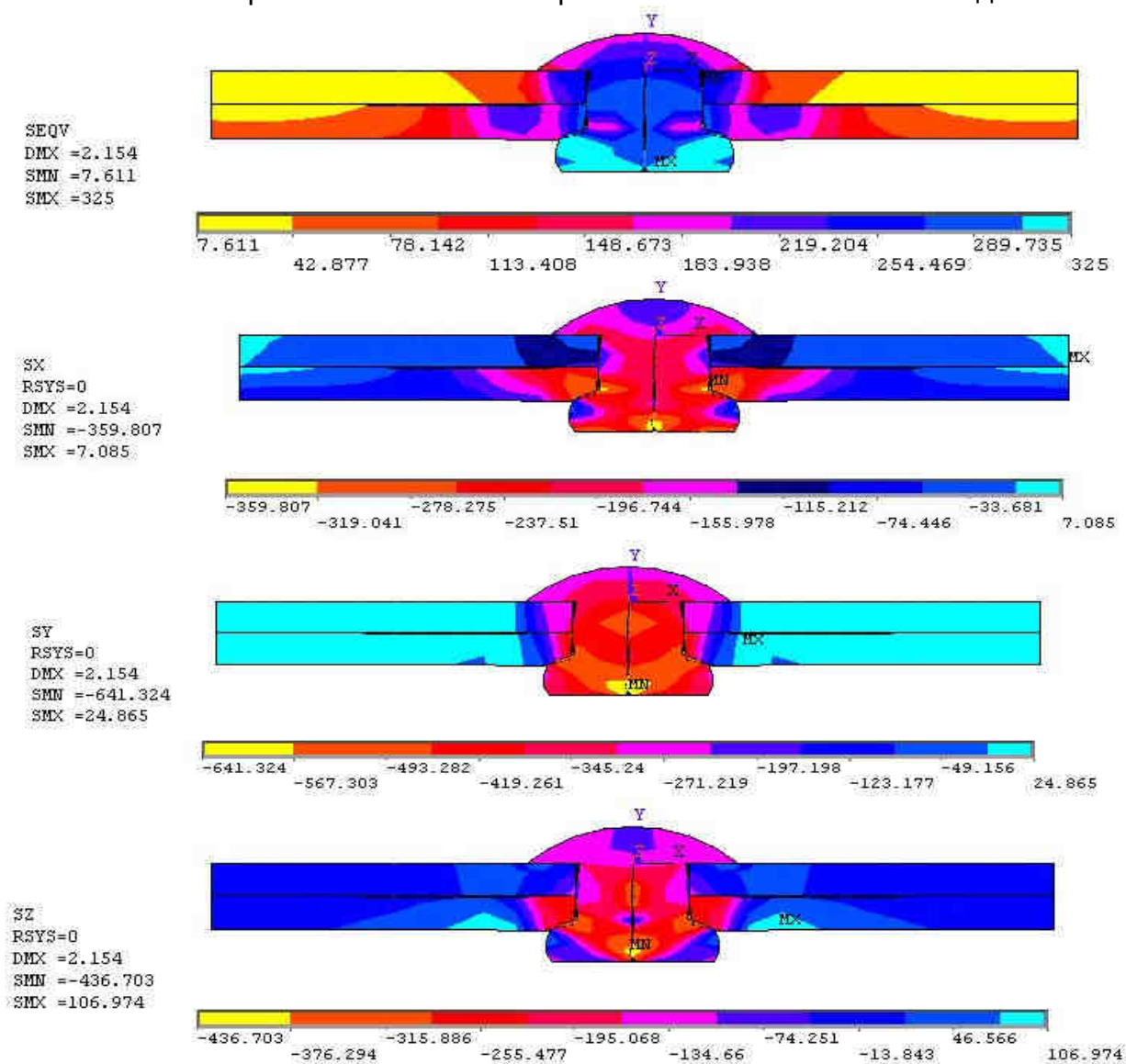


Рис. 10. Поверхности контактных пар элементов заклепочного соединения



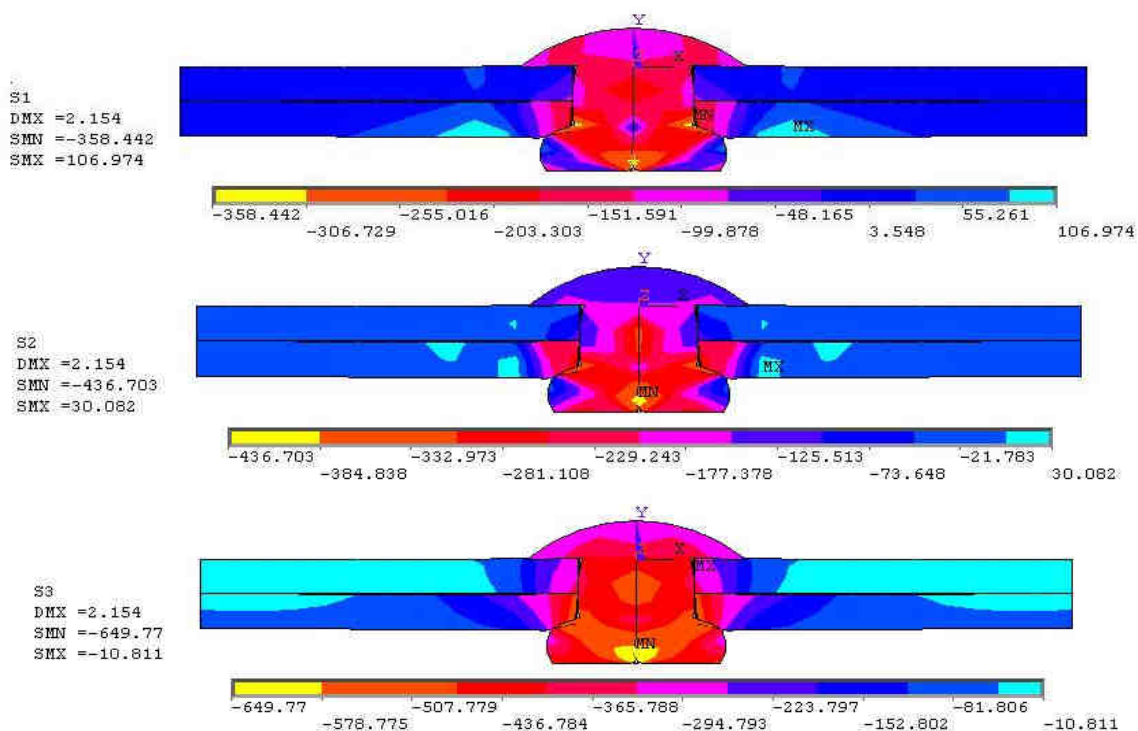
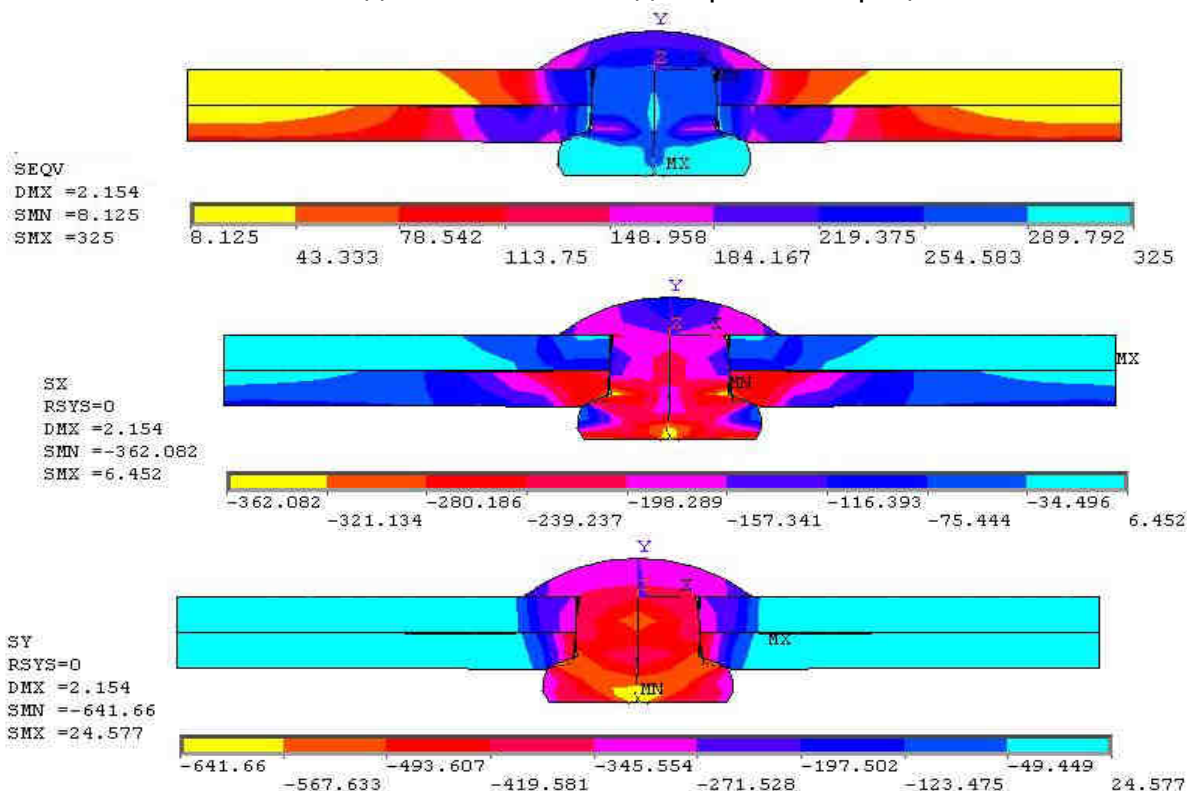


Рис. 11. Характер распределения напряжений в элементах рассматриваемого заклепочного соединения после моделирования процесса клепки



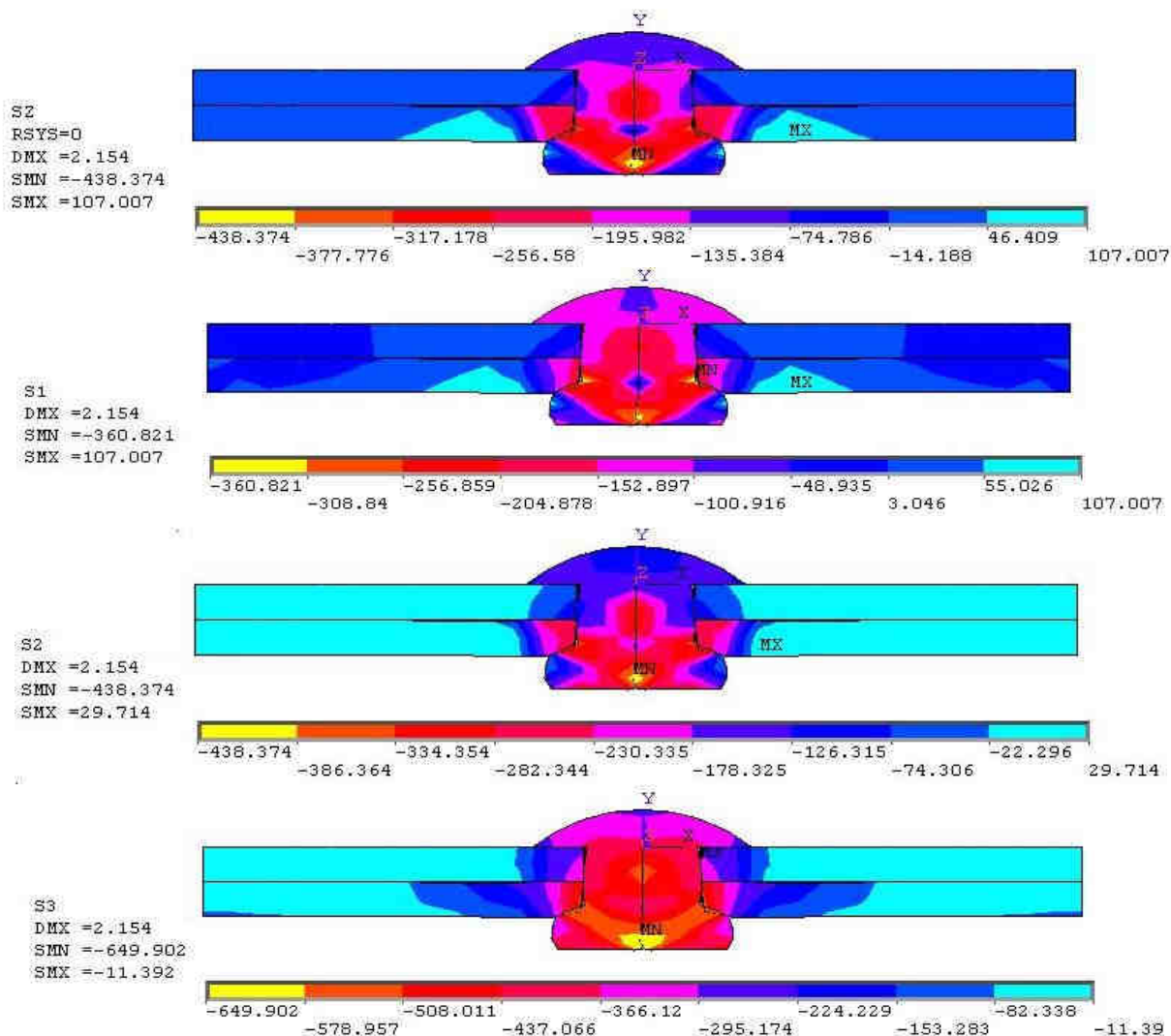


Рис. 12. Характер распределения напряжений в элементах рассматриваемого заклепочного соединения после приложения внешних нагрузок

При образовании заклёпочного соединения происходит осадка стержня совместно с радиальной раздачей отверстия панели. При этом в листах наблюдаются упругопластические деформации с образованием зоны упрочнения вокруг заклёпки радиусом C , а величина контактной нагрузки достигает значения q_0 . При снятии усилия клёпки происходит разгрузка соединения, которая приводит к падению давления до величины q_1 [7].

Характер распределения напряжений в элементах рассматриваемого заклепочного соединения после моделирования процесса клёпки показан на рис. 11; характер распределения напряжений в элементах рассматриваемого заклепочного соединения после приложения внешних нагрузок – на рис. 12.

Выводы

Разработан метод определения характеристик локального НДС в элементах заклепочного соединения листов обшивки хвостовой балки вертолета. Определен характер распределения напряжений в элементах заклепочного соединения

после моделирования процесса клепки, а также определен характер распределения напряжений в элементах заклепочного соединения при растяжении.

Анализ полученных результатов показал, что радиальный натяг, возникающий в процессе клепки, приводит к снижению амплитуд главных растягивающих напряжений и деформаций зонах вероятного усталостного разрушения – в зонах отверстия под заклепки.

Список литературы

1. Галкина, Н.С. Исследование концентрации напряжения у отверстия, нагруженного усилиями от болта [Текст] / Н.С. Галкина // Ученые записки ЦАГИ, 1981. – С. 173 – 177.
2. Анализ конструкций с помощью системы ANSYS [Текст]: учеб. пособие для студентов и специалистов промышленности / А. Г. Гребеников, Ю. Н. Геремес, Д. Ю. Дмитренко и др. – Харьков: АНТО «КНК» ANSYS Inc., 2008.
3. Гребеников, А.Г. Метод определения характеристик общего напряженно-деформированного состояния хвостовой балки вертолета транспортной категории при воздействии статических и динамических нагрузок [Текст] / А. Г. Гребеников, М. Н. Орловский, Ю. Ю. Высочанская // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 74. – Х., 2016. – С. 151 – 164.
4. ОСТ 1 11781-74. Заклепки с уменьшенной плоско-выпуклой головкой. Конструкция и размеры. – М. : Изд-во стандартов, 1974.
5. Майнсков, В. Н. Проектирование соединений элементов авиационных конструкций [Текст]: учеб. пособие / В. Н. Майнсков. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. – 72 с.
6. Технология самолетостроения [Текст]: учебник для авиационных вузов / А.Л. Абибов, Н.М. Бирюков, В.В. Бойцов и др., – М.: Машиностроение, 1982. – 551 с.
7. Шишкин, С.С. Разработка метода оценки герметичности заклепочных соединений для определения оптимальных конструктивно-технологических решений [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.С. Шишкин; – МАИ. – М., 2010. – 18 с.
8. Гребеников, А.Г. Метод анализа характеристик локального НДС незагруженного заклепочного соединения с помощью CAD/CAE системы Abaqus [Текст] / А.Г. Гребеников, Д.В. Хмелик, Д.Ю. Дмитренко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 57. – Х., 2012.
9. Browell, Ray. The Power of Nonlinear Materials Capabilities. Ray Browell, Dr. Guoyo Lin. ANSYS Solutions 2000. – Volume 2. – Number 1,2.

Поступила в редакцию 15.03.2017

Метод визначення характеристик локального НДС в элементах заклепочного з'єднання листів обшивки хвостової балки вертольота транспортної категорії

Розроблено метод визначення характеристик локального НДС в елементах заклепочного з'єднання за допомогою системи ANSYS. Метод апробований при розрахунку локального НДС в елементах заклепочного з'єднання листів обшивки хвостової балки вертольота транспортної категорії.

Ключові слова: заклепочне з'єднання, натяг, граничні умови, локальний НДС.

The Method of Determining the Characteristics of the Local Stress-Strain State in the Rivet Joint Elements of Sheathing Sheets of the Tail Boom Transport Category Rotorcraft

The method of determining the characteristics of the local stress-strain state in the rivet joint elements with the use of system ANSYS was developed. The method was tested in calculated of the rivet joint elements of sheathing sheets of the tail boom transport category rotorcraft.

Key words: riveted joint, obstruction, border conditions, local stress-strain state.

Сведения об авторах:

Гребеников Александр Григорьевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой 103 «Проектирование самолетов и вертолетов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

Орловский Михаил Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры 103 «Проектирование самолетов и вертолетов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

Высочанская Юлия Юрьевна – аспирант кафедры 103 «Проектирование самолетов и вертолетов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.