

Влияние усталостной трещины и ремонтной накладки на характеристики локального НДС в растянутой панели

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»
АНТК им. О.К. Антонова*

Ключевые слова: усталостная трещина, ремонтная накладка, локальное НДС, система ANSYS, напряжение, деформация.

Ключові слова: тріщина від утомленості, ремонтна накладка, локальний НДС, система ANSYS, напруження, деформація.

Keywords: fatigue crack, patch, local deflected mode, ANSYS software, stress, deformation.

После обнаружения усталостной трещины в силовом элементе тонкостенных авиационных конструкций проводят мероприятия, направленные на восстановление их прочности и герметичности. В вершинах трещины выполняют отверстия диаметром равным, двум толщинам конструктивного элемента с трещиной. Устанавливают ремонтную наладку на герметике для полной герметизации между основной конструкцией и ремонтной накладкой. Геометрические параметры ремонтной накладки должны обеспечивать полное восстановление прочностных характеристик поврежденной трещиной зоны конструкции. Крепежные элементы должны обеспечивать полное включение ремонтной накладки в работу основной конструкции [1].

Крайние ряды крепежных элементов необходимо выполнять с применением способов их разгрузки и обеспечения возможности осмотра критических рядов крепления ремонтной накладки.

Целью данной работы является определение влияния усталостной трещины и ремонтной накладки на характеристики локального НДС в растянутой панели.

В качестве объекта исследования выбран образец панели с двумя стрингерами и центрально расположенной трещиной, в вершине которой выполнены отверстия диаметром 4 мм, и ремонтная накладка, прикреплённая к панели (рис. 1). Толщина обшивки и накладки составляет 2 мм. Накладку выполняли в трёх видах – без утонения в зоне крайних рядов, с утонением на величину 0,5 мм и с утонением на величину 1 мм. Для удобства обнаружения усталостных трещин в панели в зоне крайних рядов накладки выполнены фестоны. Все расчёты проводили для описанных выше вариантов соединения панели и накладки, а также для панели с трещиной без накладки с отверстиями для её установки (рис. 2).

На основе геометрии растягиваемого образца и характера нагружения разработана расчётная схема элементов соединения накладки и панели с усталостной трещиной (рис. 3).

Учитывая геометрическую и силовую симметрию образца, а также изотропность свойств материала, из которого он изготовлен, моделируем 1/4 образца панели с усталостной трещиной и накладкой, с соответствующими граничными условиями симметрии.

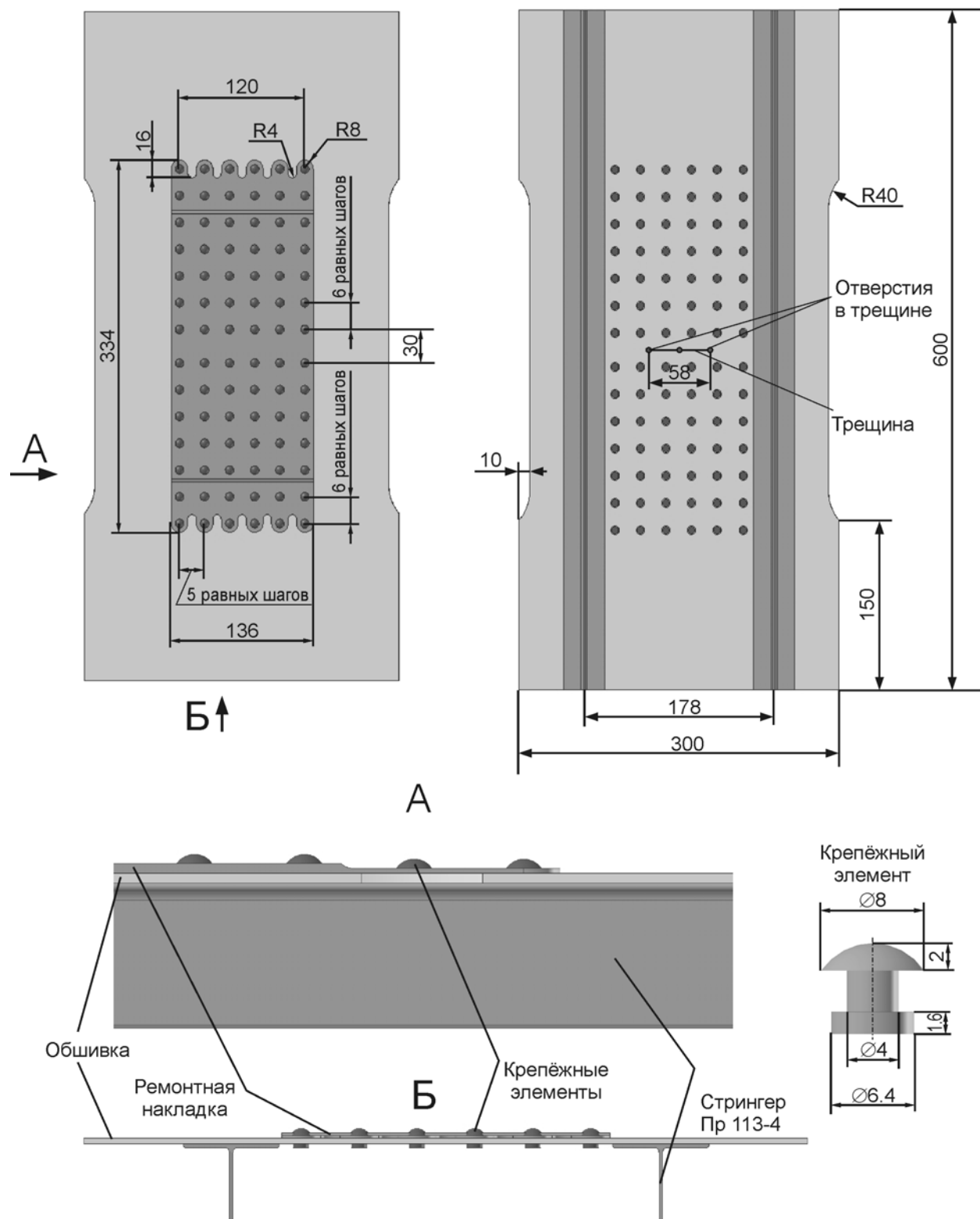


Рис. 1. Образец панели с центрально расположенной трещиной и установленной ремонтной накладкой

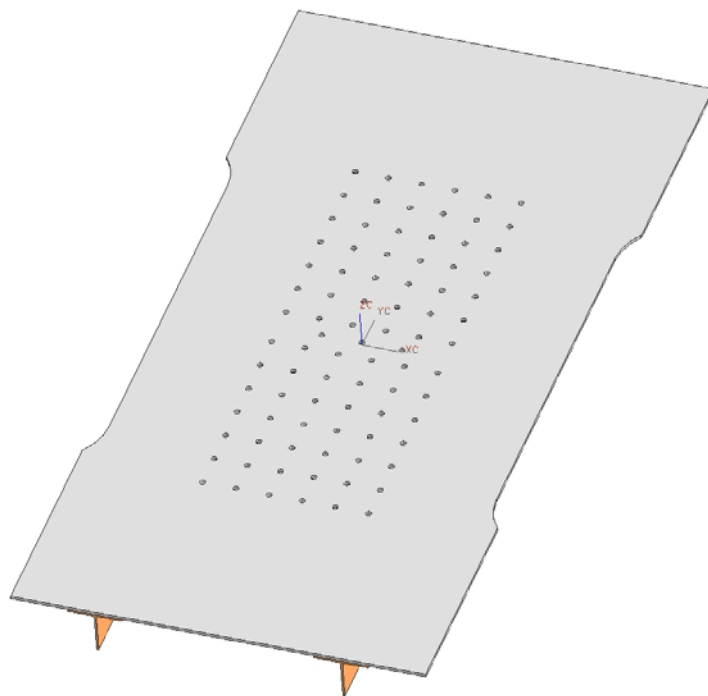


Рис. 2. Образец панели с трещиной без наклейки с отверстиями для её установки

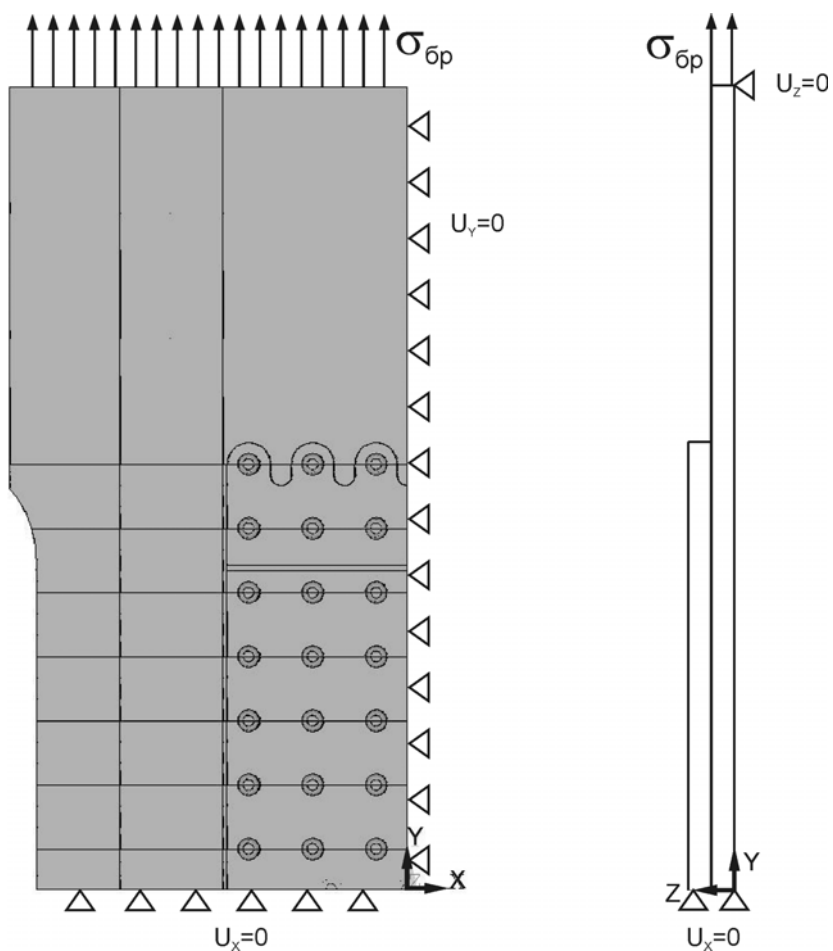


Рис. 3. Расчётная схема панели с накладкой

Крепёжные элементы с односторонним подходом из сплава В65 [2] устанавливают без натяга и осевой затяжки.

Для разбиения на конечные элементы панели с усталостной трещиной, накладки и крепёжных элементов применяют 8-узловые 3D элементы твердого деформируемого тела SOLID45, представленные в системе ANSYS [3]. Контактное взаимодействие моделировали с помощью специальных элементов TARGE170 и CONTA173. В модели контактного взаимодействия учтено трение. В качестве диапазона расчетных напряжений выбраны эксплуатационные напряжения, характерные для тонкостенных элементов конструкции, а именно уровни напряжений 50, 100, 130 и 150 МПа.

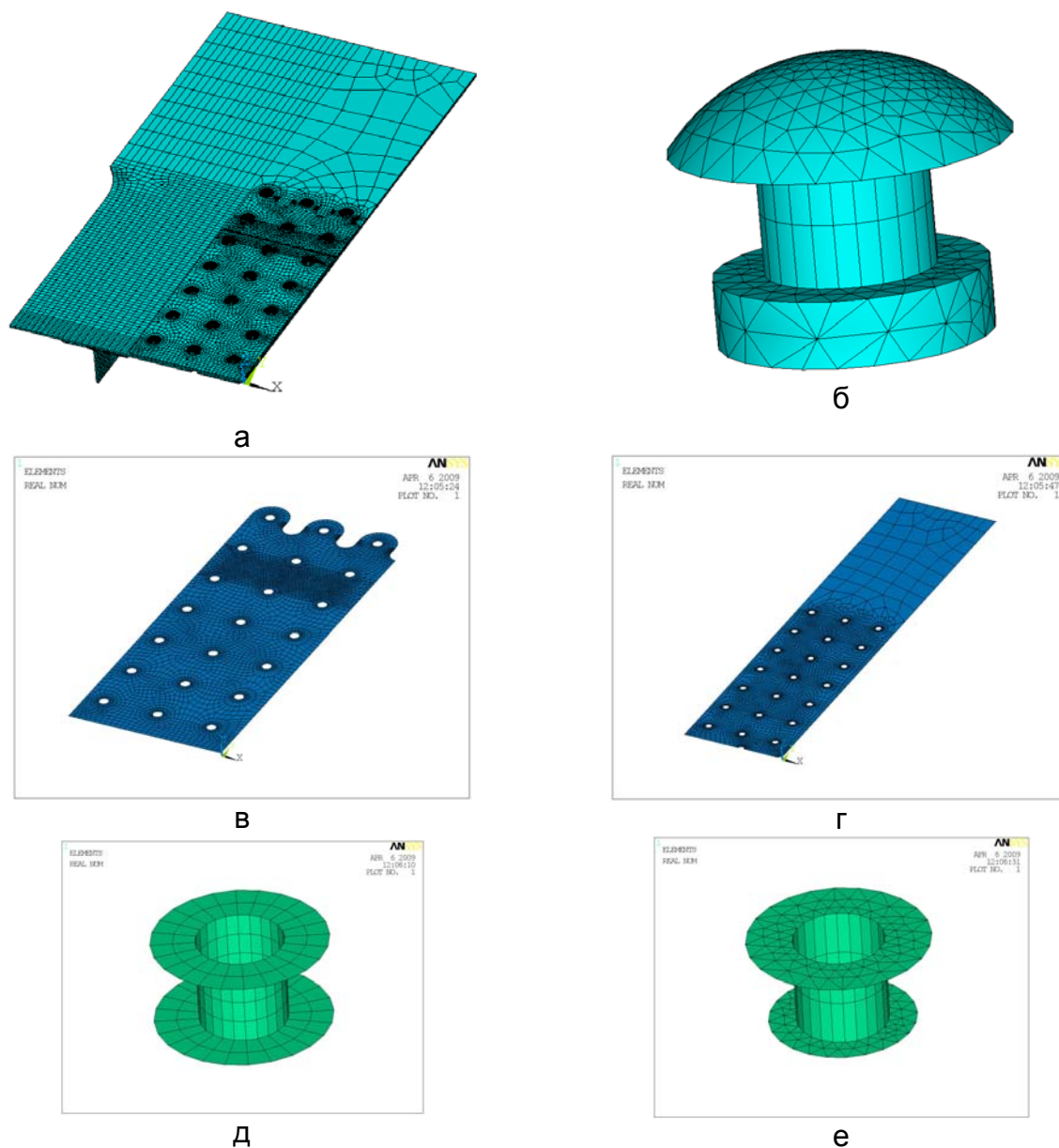


Рис. 4. Конечно-элементная модель: а – панели с центрально расположенной трещиной и установленной ремонтной накладкой; б – крепёжного элемента с односторонним подходом; в , г, д, е – контактных элементов соединения панели с накладкой и крепёжных элементов с панелью и накладкой

При выборе модели поведения материала учитывали спектр расчетных нагрузок, действующих на образец. Поскольку при данных уровнях напряжений возможно возникновение в образце пластических деформаций, то для описания законов поведения материала для всех конструктивных элементов выбрана полилинейная упругопластическая модель материала с кинематическим законом упрочнения.

Все конструктивные элементы выполнены из алюминиевого сплава Д16Т.

Для проведения расчётов стрингер и обшивку делают монолитной конструкцией.

Как показывают результаты усталостных испытаний образцов панели с усталостной трещиной и ремонтной накладкой, можно выделить три зоны вероятного усталостного разрушения: 1) сечение по оси трещины в панели; 2) сечение по оси первого ряда в накладке; 3) сечение по оси крайнего ряда в панели (рис. 5).

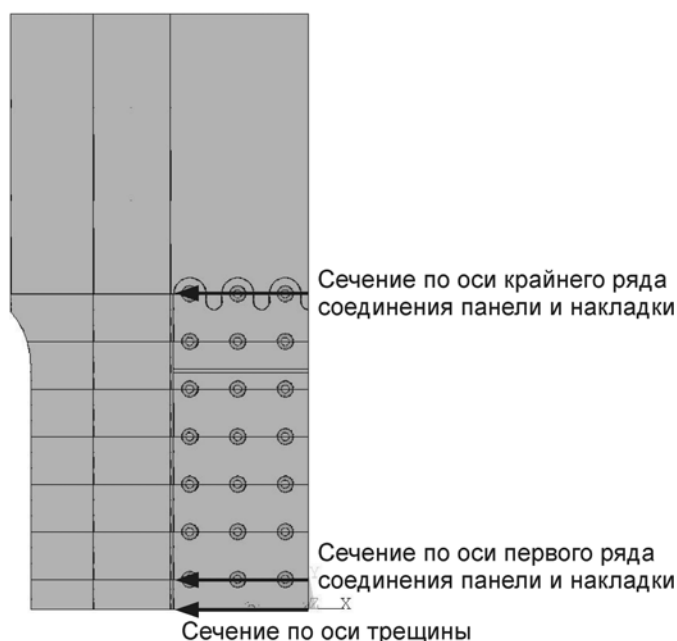


Рис. 5. Схема идентификации путей, вдоль которых строятся графики распределения напряжений, деформаций и удельной энергии деформирования

В качестве параметров, характеризующих локальное НДС в указанных зонах, выбраны:

- 1) главные растягивающие напряжения σ_1 ;
- 2) главные растягивающие деформации ε_1 ;
- 3) удельная энергия деформирования w_1 .

Вычисленные параметры локального НДС панели в сечениях по оси трещины, по оси первого ряда и по оси крайнего ряда приведены к отнулевому циклу нагружения с помощью формул Одинга для вычисления максимальных значений отнулевого цикла.

Проанализировано влияние уровня нагружения на изменение максимальных главных растягивающих напряжений, деформаций и удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла (рис. 6 – 14). На рисунках приняты следующие обозначения: 1 – панель с усталостной трещиной и накладкой, имеющей утонение на величину 1 мм; 2 – панель с усталостной трещиной

и накладкой, имеющей утонение на величину 0,5 мм; 3 – панель с усталостной трещиной и накладкой без утонения; 4 – панель с усталостной трещиной и отверстиями для крепления ремонтной накладки; 5 – панель без усталостной трещины, накладки и без отверстий для крепления ремонтной накладки. При длине трещины 59 мм, как показали расчёты, в сечении по оси первого ряда крепёжных элементов напряжения в панели больше, чем в накладке, поэтому все графические зависимости в этой зоне строим для панели.

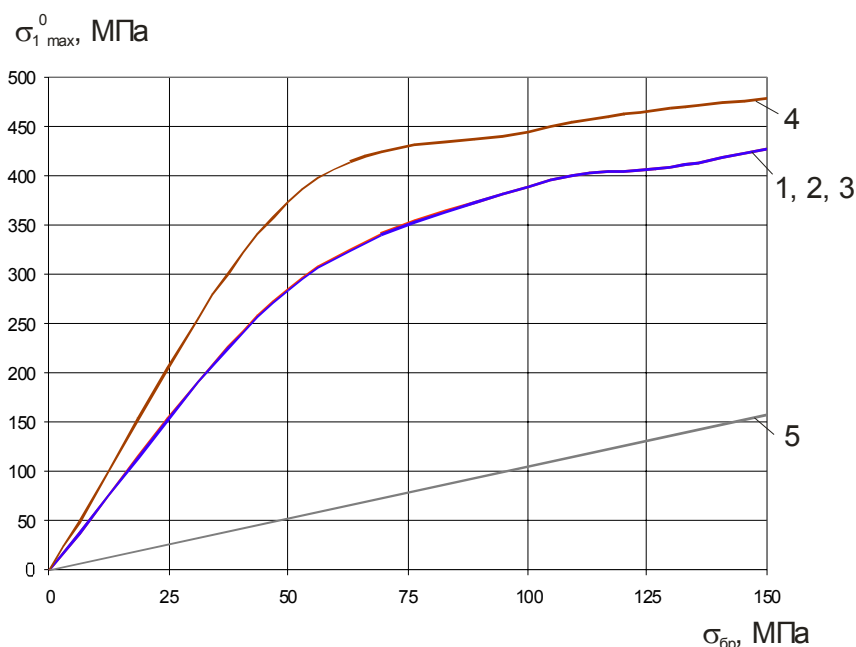


Рис. 6. Влияние уровня нагружения на изменение максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в панели в сечении по оси трещины

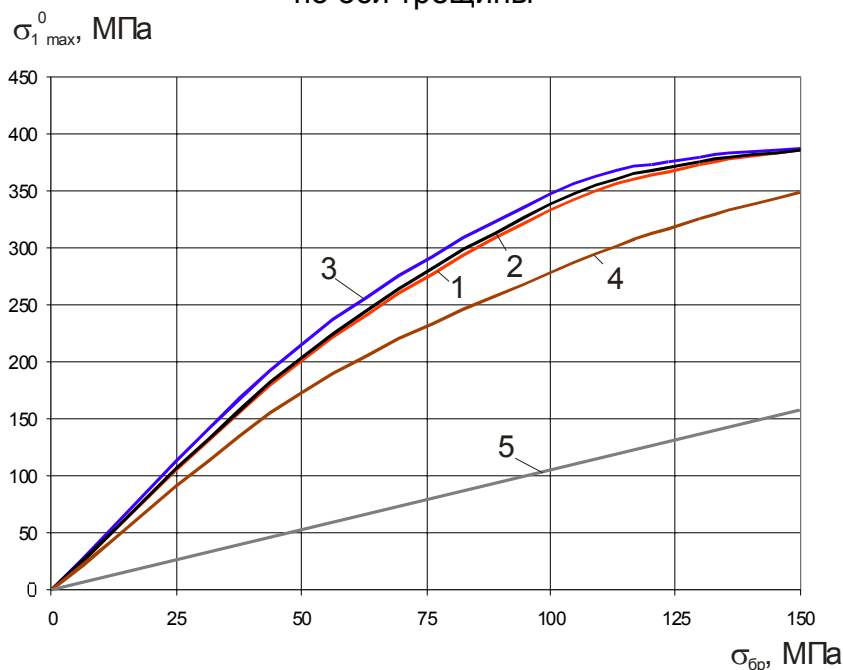


Рис. 7. Влияние уровня нагружения на изменение максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в панели в сечении по оси крайнего ряда крепёжных элементов

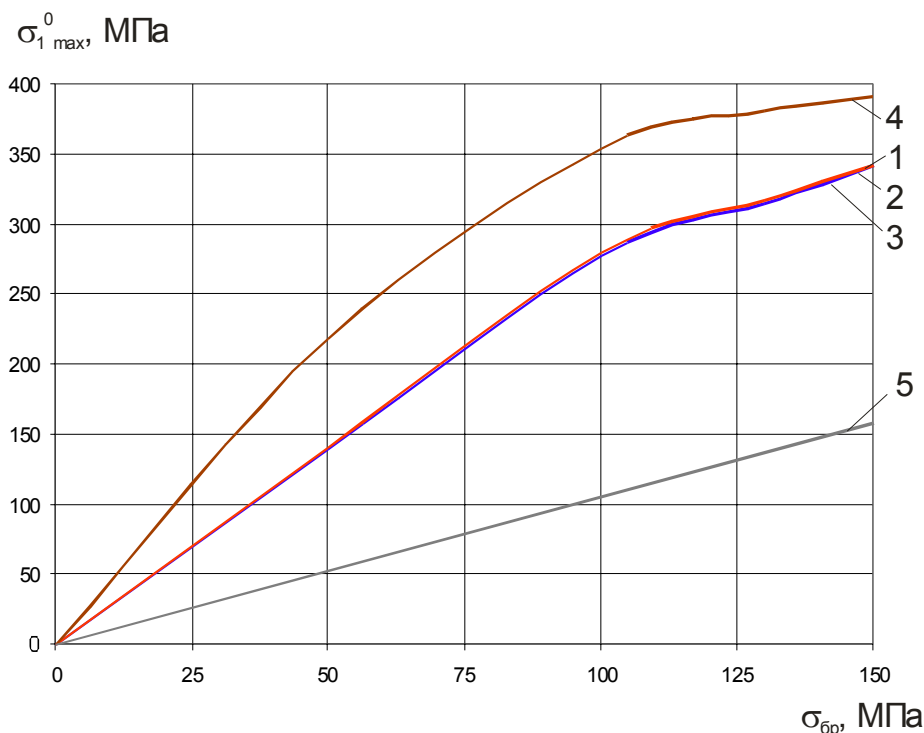


Рис. 8. Влияние уровня нагружения на изменение максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в панели в сечении по оси первого ряда крепёжных элементов

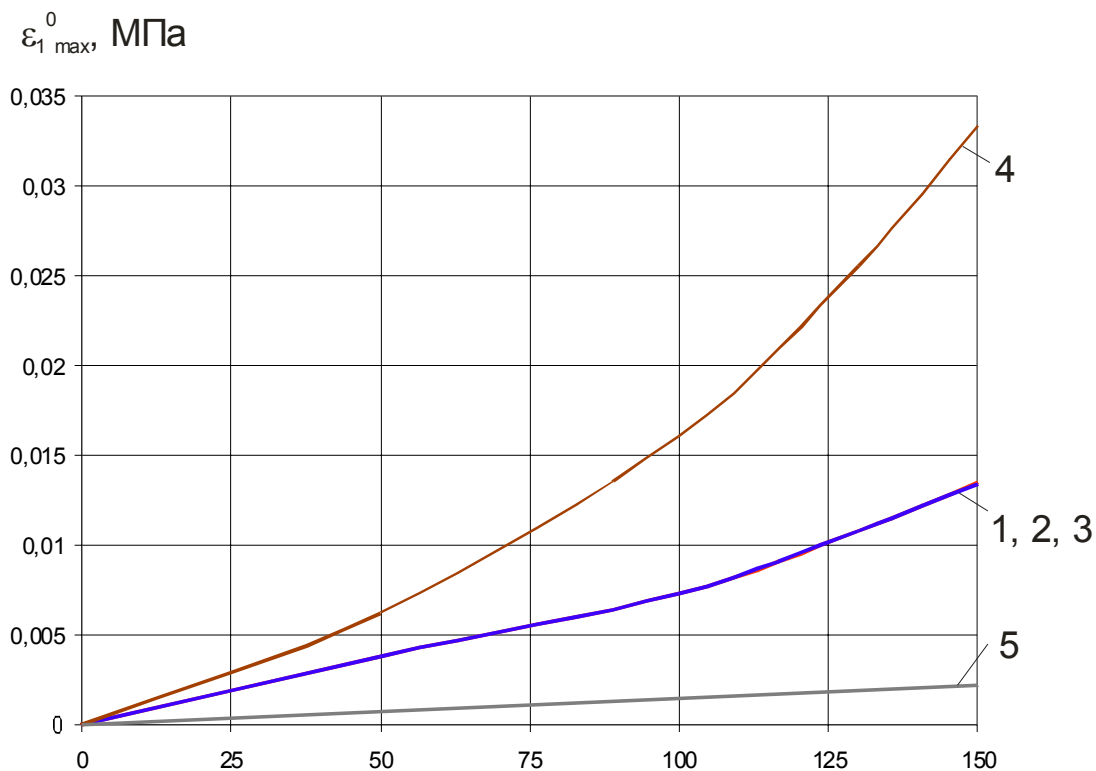


Рис. 9. Влияние уровня нагружения на изменение максимальных главных растягивающих деформаций эквивалентного отнулевого цикла в панели в сечении по оси трещины

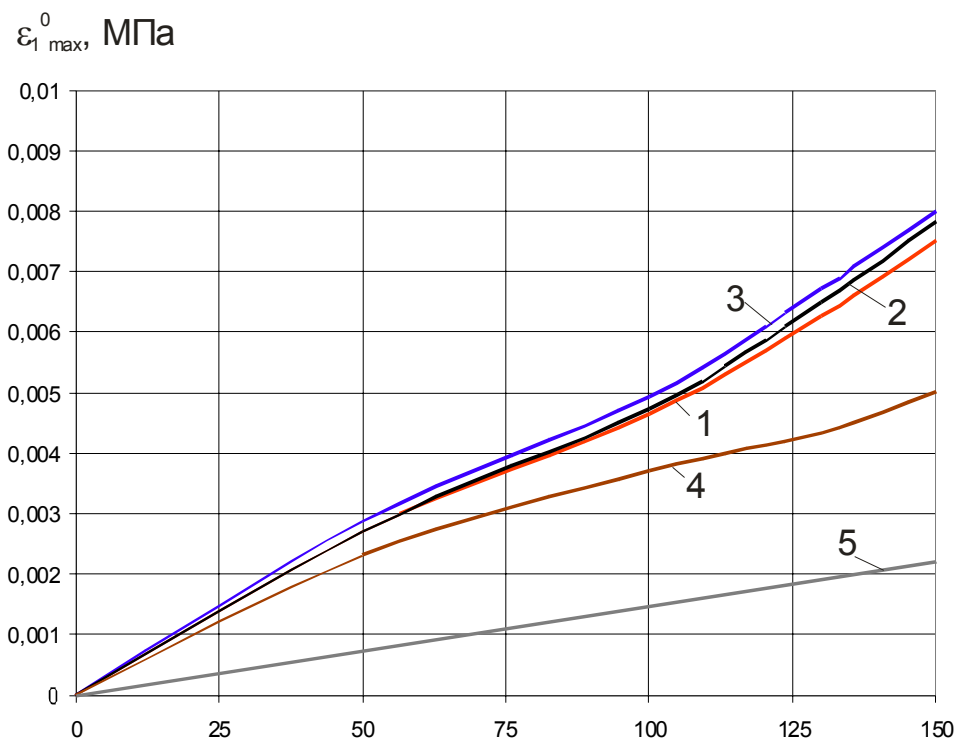


Рис. 10. Влияние уровня нагружения на изменение максимальных главных растягивающих деформаций эквивалентного отнулевого цикла в панели в сечении по оси крайнего ряда крепёжных элементов

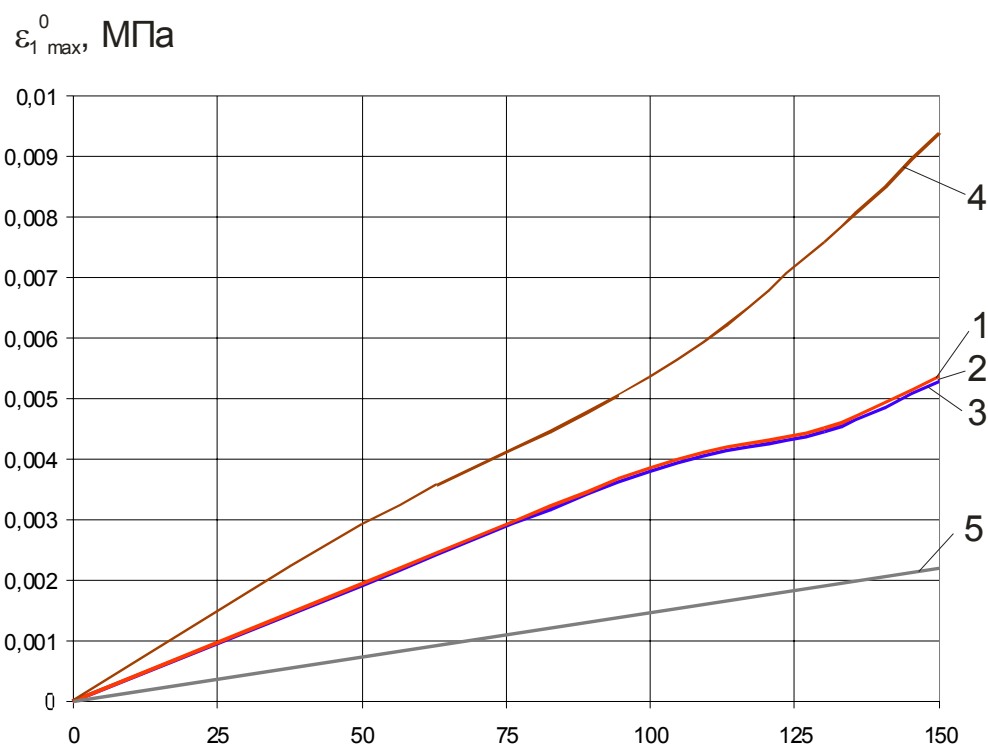


Рис. 11. Влияние уровня нагружения на изменение максимальных главных растягивающих деформаций эквивалентного отнулевого цикла в панели в сечении по оси первого ряда крепёжных элементов

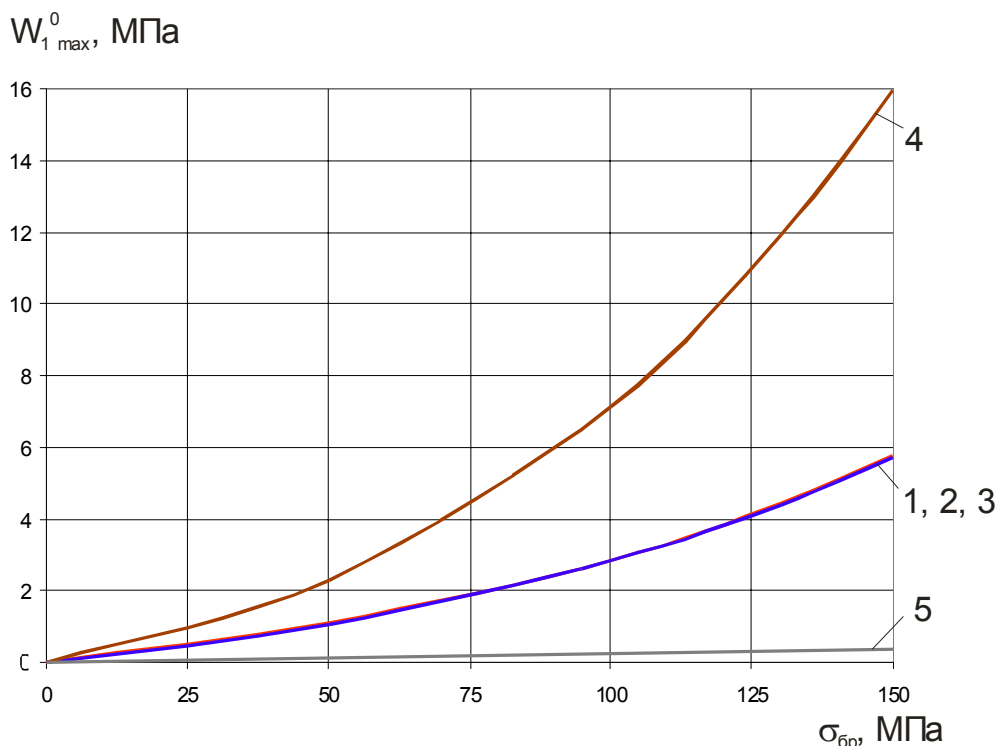


Рис. 12. Влияние уровня нагружения на изменение максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла в панели в сечении по оси трещины

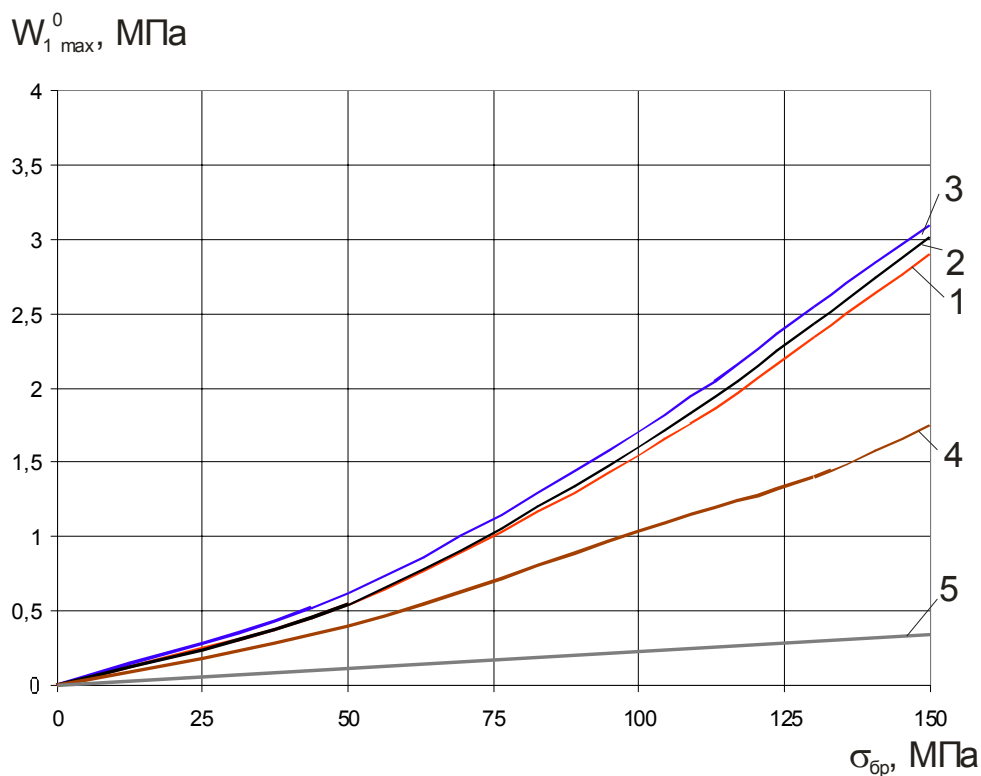


Рис. 13. Влияние уровня нагружения на изменение максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла в панели в сечении по оси крайнего ряда крепёжных элементов

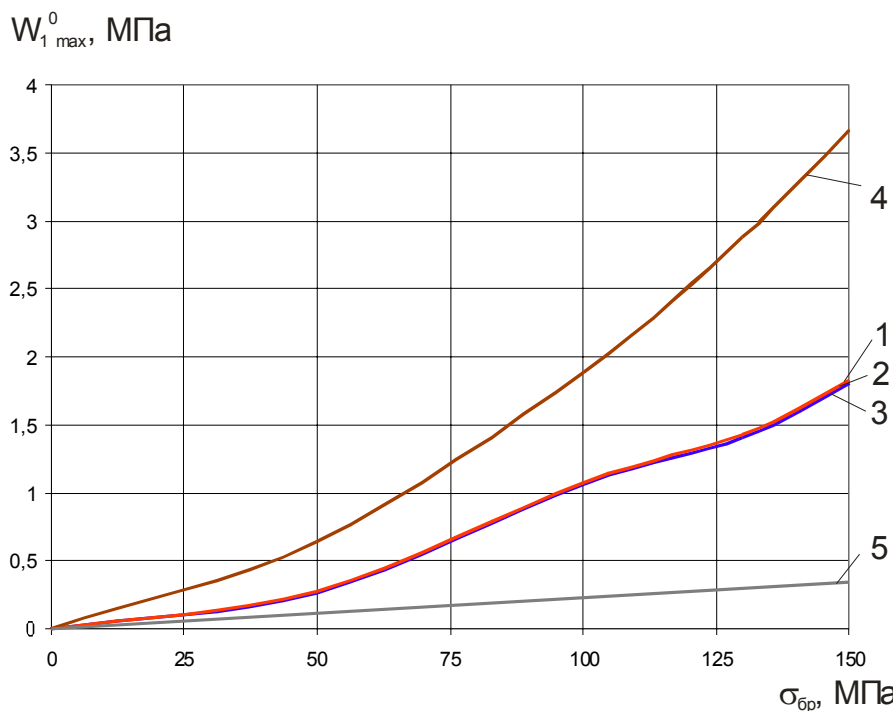


Рис. 14. Влияние уровня нагружения на изменение максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла в панели в сечении по оси первого ряда крепёжных элементов

Проанализировано влияние уровня нагружения на изменение распределения усилий по рядам крепёжных элементов (рис. 15-17). На рисунках приняты следующие обозначения: 1– $\sigma_{бр} = 50$ МПа; 1– $\sigma_{бр} = 100$ МПа; 1– $\sigma_{бр} = 130$ МПа; 1– $\sigma_{бр} = 150$ МПа.

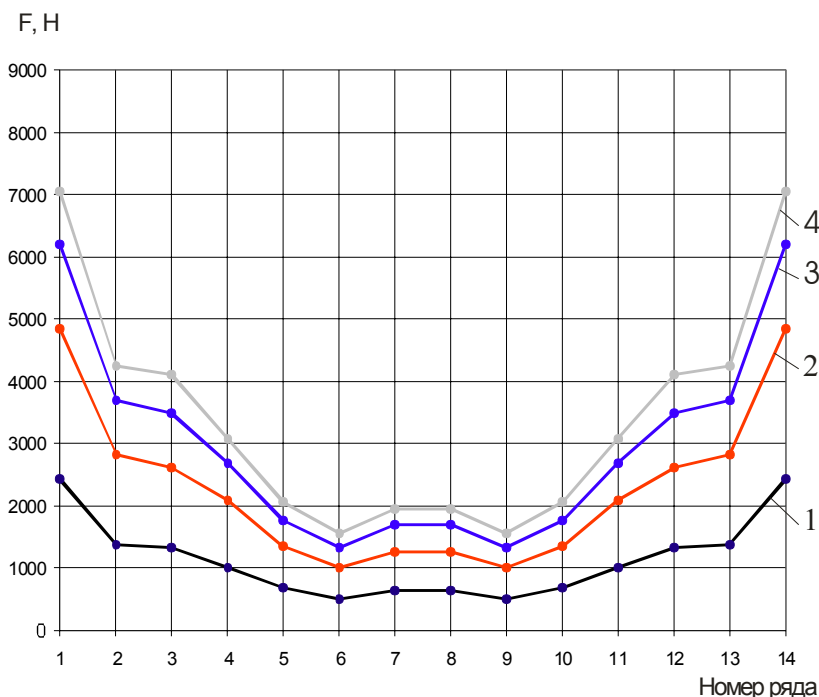


Рис. 15. Влияние уровня нагружения на характер распределения суммарных усилий в рядах крепёжных элементов (накладка с утонением на величину 1 мм)

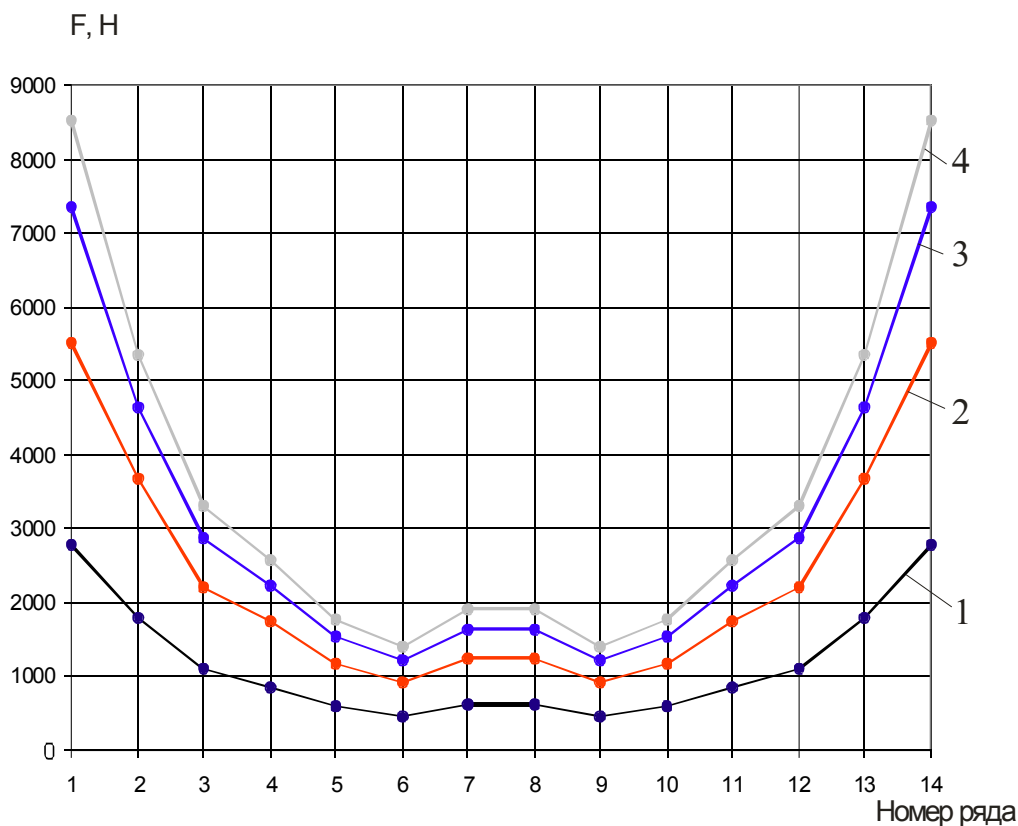


Рис. 16. Влияние уровня нагружения на характер распределения суммарных усилий в рядах крепёжных элементов (накладка с утонением на величину 0,5 мм)

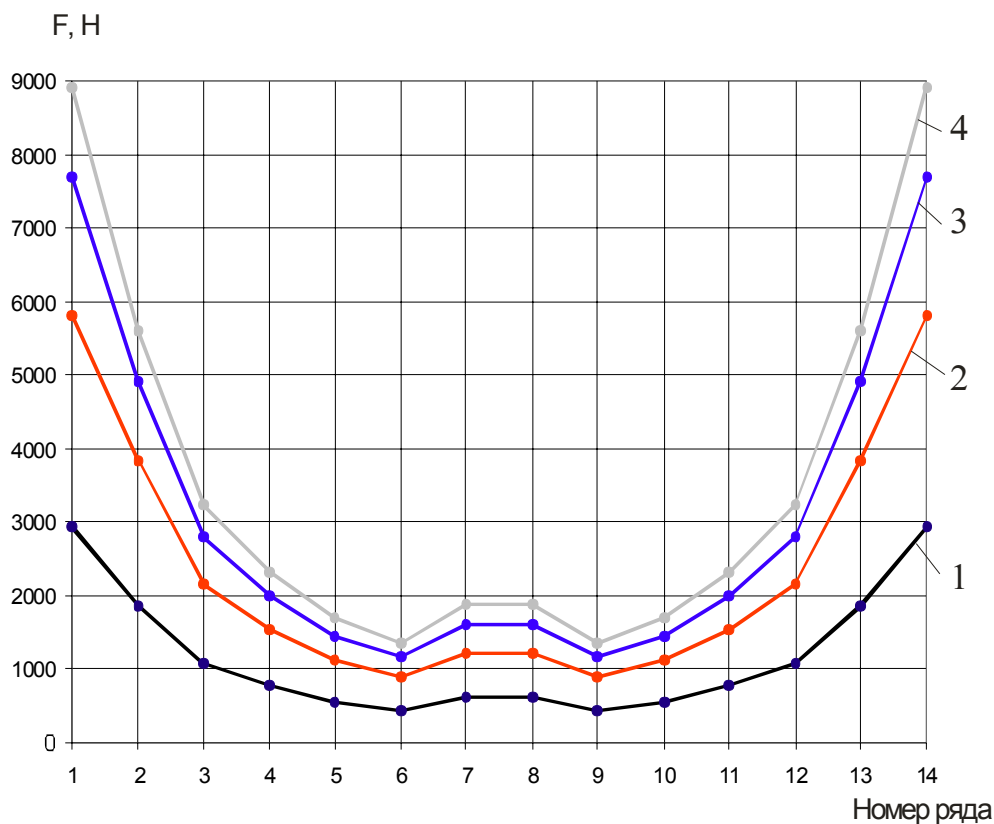


Рис. 17. Влияние уровня нагружения на характер распределения суммарных усилий в рядах крепёжных элементов (накладка без утонения)

Выводы

1. Определено влияние усталостной трещины и ремонтной накладки на характеристики локального НДС в растянутой панели. В сечении по оси трещины величины максимальных главных растягивающих напряжений, деформаций и удельной энергии деформирования в панели больше соответствующих величин в других сечениях. Утонение ремонтной накладки оказывает влияние на изменение локального НДС только в зоне крайнего ряда соединения панели и накладки, а в сечении по оси трещины и в первом ряду соединения панели и накладки изменение главных растягивающих напряжений, деформаций и удельной энергии деформирования практически не наблюдается.

2. В сечении по крайнему ряду соединения панели и накладки величины максимальных главных растягивающих напряжений, деформаций и удельной энергии деформирования в панели с увеличением утонения в накладке до 1 мм снижаются в 1,11-1,41, в 1,4-1,78 и в 1,97-1,98 раза соответственно по сравнению с этими характеристиками в случае применения накладки без утонения.

3. В сечении по оси трещины коэффициенты концентрации напряжений k_σ , деформаций k_ϵ и удельной энергии деформирования k_w в панели без накладки составляют 3,03-7,12, 8,49-15,2, 20,1-46,1 соответственно по сравнению с этими характеристиками при использовании панели без усталостной трещины, накладки и отверстий для крепления накладки.

4. В сечении по оси трещины коэффициенты концентрации напряжений k_σ , деформаций k_ϵ и удельной энергии деформирования k_w в панели с накладкой составляют 2,71-5,43, 5,18-6,17 и 9,4-16,7 соответственно по сравнению с этими характеристиками при использовании панели без усталостной трещины, накладки и отверстий для крепления накладки.

5. При использовании накладки величины главных растягивающих напряжений, деформаций и удельной энергии деформирования уменьшаются в сечении по оси трещины и в первом ряду соединения панели и накладки, а в крайнем ряду – увеличиваются.

Список литературы

1. Гребеников А.Г. Методология интегрированного проектирования и моделирования сборных самолётных конструкций / А.Г. Гребеников. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т "ХАИ", 2006. – 532 с.
2. Авиационные материалы / под общ. ред. д-ра техн. наук Р.Е. Шалина. – М.: ОНТИ, 1982. – Т.4. Алюминиевые и бериллиевые сплавы. – 627 с.
3. ANSYS Analysis Guide. Element Reference. Element Library. 001087. 4th Edition. SAS IP[©].

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Буланов,
Национального автомобильного университета Харькова.

Поступила в редакцию 02.03.09.