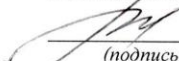


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Работа выполнена в СКБ «Авиастроение»


СОГЛАСОВАНО

Начальник отдела ОНИПКРС

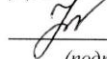
  
(подпись) Е.М. Димитриади  
« 13 » ноября 2023 г.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

  
(подпись) А.В. Космынин  
« 13 » ноября 2023 г.

Декан ФАМТ

  
(подпись) О.А. Красильникова  
« 13 » ноября 2023 г.

**«Проектирование места крепления подшипника в шарико-винтовом  
механизме навески секций закрылка крыла самолёта»**


Комплект проектной документации

Руководитель СКБ  
Авиастроение

  
(подпись, дата)

Ю.Б. Колошенко

Руководитель проекта

  
(подпись, дата) 30.01.2024

Д.А. Потянихин

Комсомольск-на-Амуре 2024



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

ЗАДАНИЕ  
на разработку

Название проекта: Проектирование места крепления подшипника в шарико-винтовом механизме навески секций закрылка крыла самолёта.

Назначение: Проектирование в CAD/CAE изменённой конструкции места крепления подшипника в шарико-винтовом механизме привода закрылка самолёта с целью повышения качества монтажа механизации в хвостовой части отъёмной части крыла пассажирского самолёта.

Область использования: В учебном процессе для направления подготовки 24.05.07 «Самолето- и вертолестроение» в качестве наглядного пособия учебно-методического комплекса.

Функциональное описание проекта: Методика должна позволять получать рациональное решение при проектировании изменённой конструкции места крепления подшипника в шарико-винтовом механизме привода закрылка самолёта.

Техническое описание устройства: Трёхмерные модели элемента конструкции должна соответствовать габаритным характеристикам механизации крыла.

Требования: Трёхмерные модели выполняются в программном комплексе программном комплексе Siemens NX, прочностные расчеты проводятся в программном комплексе ANSYS.

План работ:

Наименование работ	Срок
Анализ конструкции и существующей технологии монтажа механизации в хвостовой части крыла. Выявление проблем, существующих при монтаже и разработка предложений по их решению	Ноябрь 2023
Разработать предложения по решению проблемы. Для предложенных вариантов решения проблемы провести расчет разрушающей нагрузки для места крепления подшипника в пакете инженерного анализа ANSYS методом конечных элементов	Декабрь 2023
Оформление отчета	Январь 2024

Перечень графического материала:

1. Геометрические и прочностные модели;
2. Визуализация расчетов по определению напряженно-деформированного состояния в проектируемых элементах конструкции.

Руководитель проекта \_\_\_\_\_

*(подпись, дата)*

Д.А. Потянихин

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

**ПАСПОРТ**

**«Проектирование места крепления подшипника в шарико-винтовом  
механизме навески секций закрылка крыла самолёта»**

Руководитель проекта

\_\_\_\_\_

*(подпись, дата)*

Д.А. Потянихин

Комсомольск-на-Амуре 2024

## Содержание

1	Общие положения .....	7
1.1	Цель и задачи работы .....	7
1.2	Предмет разработки .....	7
1.3	Исходные данные для проектирования.....	7
2	Проектирование и проверочный расчет крепления подшипника на прочность при осевых нагрузках.....	11
2.1	Расчет на прочность первоначального места крепления.....	11
2.2	Расчет на прочность с увеличенной площадью точек кернения .....	13
2.3	Расчет на прочность с увеличенным количеством точек кернения .....	14
2.4	Расчет на прочность при изменении конструкции, с применением стопорного кольца .....	15
2.5	Сравнительный анализ предложенных вариантов решения проблемы.....	19

					<b>СКБ</b> ____ .1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		6

## 1 Общие положения

### 1.1 Цель и задачи работы

Целью проекта является повышение качества монтажа механизации в хвостовой части крыла среднемагистрального пассажирского самолета.

Задачами проекта являлось создание трехмерной геометрической модели места крепления подшипника в шарико-винтовом механизме навески секций закрылка крыла самолёта, расчетной модели объекта, описании методики проектирования изменной конструкции места крепления подшипника в шарико-винтовом механизме привода закрылка самолета.

### 1.2 Предмет разработки

Предметом разработки является законченная методика автоматизированного проектирования конструкции места крепления подшипника в шарико-винтовом механизме привода закрылка пассажирского самолета.

### 1.3 Исходные данные для проектирования

Шарико-винтовые механизмы (ШВМ) устанавливаются в хвостовой части крыла, крепятся к узлам навески по 2 лонжерону, а также к секции закрылка. ШВ механизмы предназначены для выпуска и уборки секции закрылка при взлете и посадке.



					СКБ _____ .1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		7

Рисунок 1 – Шарико-винтовой механизм

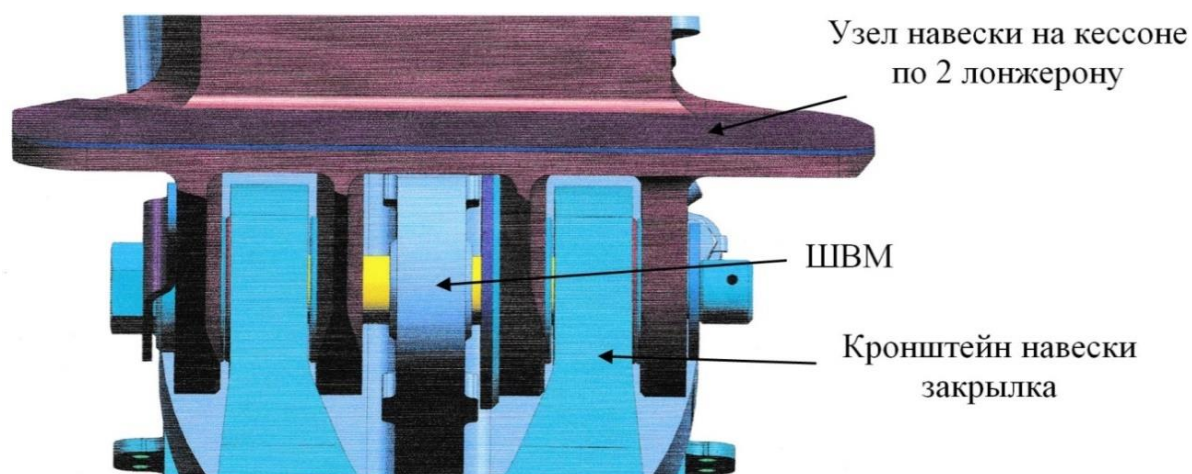


Рисунок 2– Узел навески кронштейна навески 4 закрылка

В шарико-винтовом механизме установлен подшипник марки 2ШМ15 ГОСТ 3635-78 «Подшипники шарнирные. Технические условия», параметры которого указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Основные размеры и допускаемые нагрузки подшипника

Тип подшипника	Размеры в мм								Угол $\alpha$ , не более	Масса, кг, не более	Допускаемые радиальные нагрузки, Н
	$d$	$D$	$B$	$C$	$d_1$	$d_2$	$r$	$r_1$			
2ШМ15	$d$	$D$	$B$	$C$	$d_1$	$d_2$	$r$	$r_1$	11°	0,082	184364
	15	35	18	14	20	27	1	0.5			



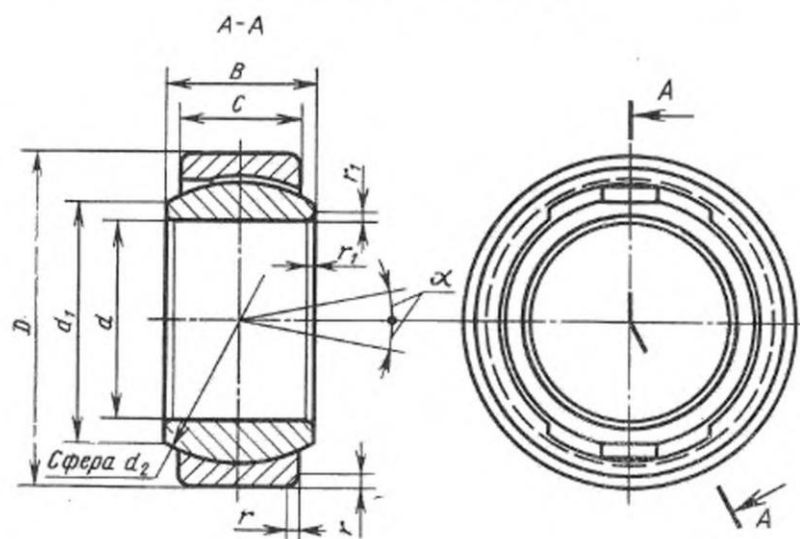


Рисунок 3 – Подшипник для неподвижных и подвижных соединений.  
Типы Ш и ШМ

Трехмерная модель места установки подшипника представлена на рисунке 4.

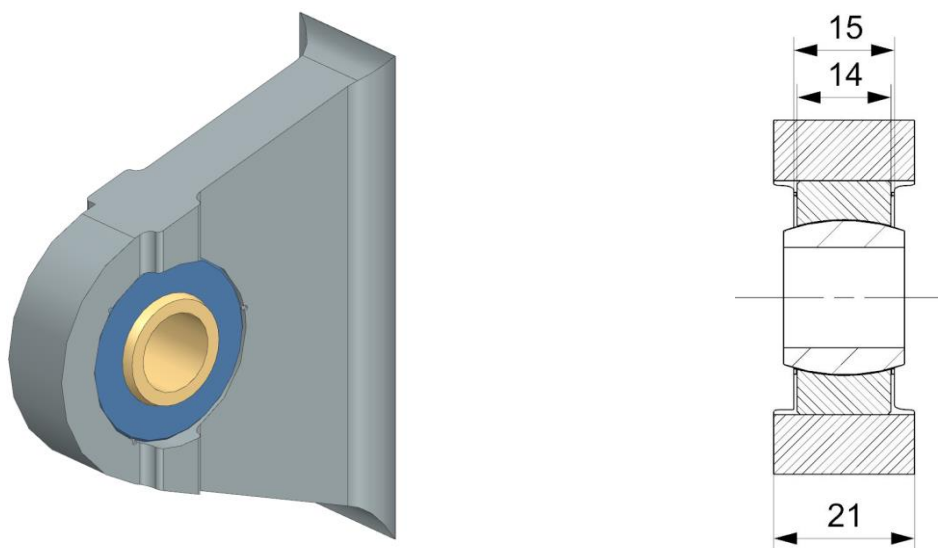


Рисунок 4 – Конструкция места установки подшипника

Материал корпуса – Д16 ГОСТ 4784–2019 , материал подшипника – ШХ15 ГОСТ 801–78, материал стопорного кольца – 65Г ГОСТ 14959–2016. Механические свойства материалов описаны в таблице 2.

Таблица 2 – Механические свойства материалов

Свойства	Марка материала		
		Д16	ШХ15

	ГОСТ 4784-2019	ГОСТ 801—78	ГОСТ 14959 – 2016
Модуль упругости, ГПа	72	211	215
Коэффициент Пуансона	0,33	0,28	0,29
Предел текучести, МПа	320	1320	1450
Временное сопротивление, МПа	450	1860	1670
Относительное удлинение, %	19	8	8
Плотность, г/см <sup>3</sup>	5,6	7,815	7,85
Тангенциальный модуль, МПа	700	7323	3003

При монтаже выявлена проблема выдавливания подшипника в шариковинтовом механизме навески секции закрывка (рисунок 1). При установке подшипника применена посадка с натягом, также произведено кернение посадочного места подшипника для предотвращения перемещения подшипника. Данный способ фиксации не помогает при возникновении осевых нагрузок.

Для предотвращения выпадения подшипника были предложены следующие варианты:

- 1) Увеличение площади существующих точек кернения;
- 2) Увеличение количества точек кернения;
- 3) Изменение конструкции места крепления подшипника, с применением стопорного кольца.

## 2 Проектирование и проверочный расчет крепления подшипника на прочность при осевых нагрузках

### 2.1 Расчет на прочность первоначального места крепления

Для описания напряженно-деформированного состояния места установки подшипника используется модель упругопластического твердого тела с линейным упрочнением. Геометрические модели места установки подшипника были выполнены в системе Siemens NX. Расчеты производились методом конечных элементов в модуле Static Structural пакета инженерного анализа ANSYS Workbench.

Между контактирующими элементами задается контакт с трением.

При дискретизации расчетной области была построена трехмерная сетка (рисунок 5).



Рисунок 5 – Построение сетки

Для внутреннего кольца подшипника задается осевое перемещение (рисунок 6). Ищется усилие, при котором, вследствие пластического деформирования материала, происходит выпадение подшипника из корпуса.

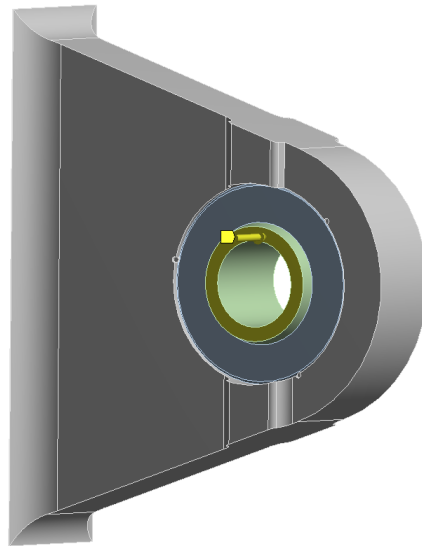


Рисунок 6 – Приложение перемещения

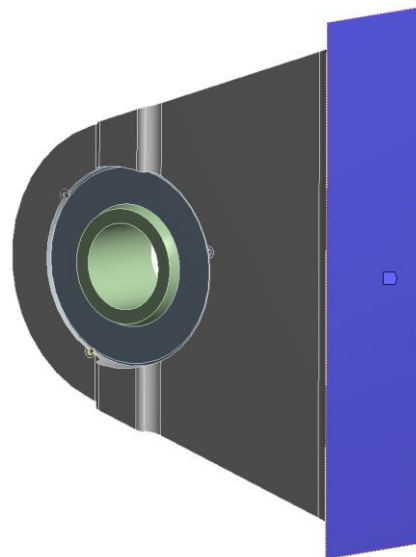


Рисунок 7 – Наложение закрепления

Крепление места установки подшипника к механизму (рисунок 2) для всех случаев расчета моделируется жесткой заделкой.

Результаты расчета приведены на рисунке 8. Сила, при которой произошло разрушение соединения, составила 345 Н, распределение напряжений в корпусе, соответствующее максимальной силе, показано на рисунке 8.

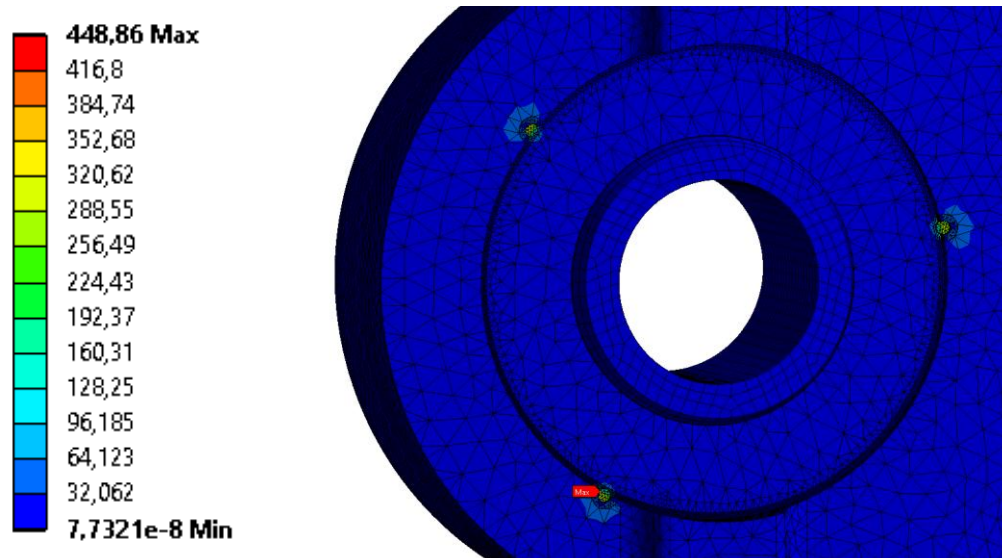


Рисунок 8 - Напряженное состояние, МПа

## 2.2 Расчет на прочность с увеличенной площадью точек кернения

Для предотвращения выпадения подшипника из корпуса ШВ механизма было предложено увеличить площадь уже существующих точек кернения (рисунок 10).

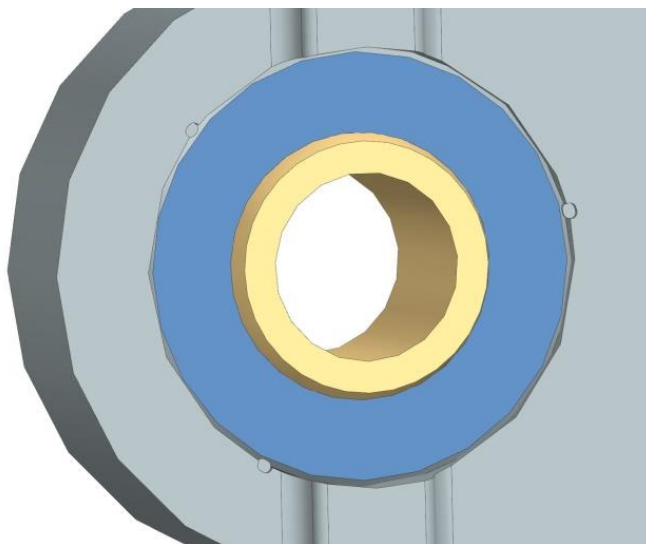


Рисунок 10 – Точки кернения с увеличенной площадью

Для расчета были взяты те же параметры, что и для проверочного расчета крепления подшипника на прочность при осевых нагрузках до изменения.

Результаты расчета приведены на рисунке 11. Сила, при которой произошло разрушение соединения, составила 655 Н, распределение напряжений в корпусе, соответствующее максимальной силе, показано на рисунке 11. Следовательно, для выдавливания подшипника требуется осевое усилие в 1,9 раз больше по сравнению с первоначальным вариантом.

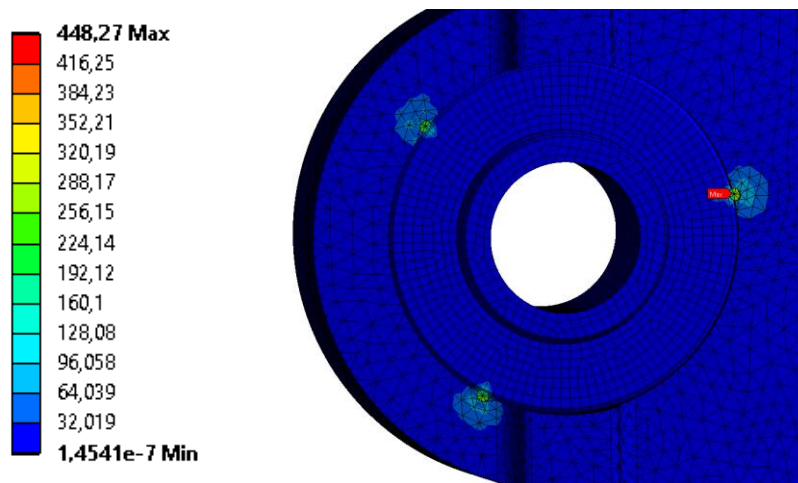


Рисунок 11 - Напряженное состояние, МПа

### 2.3 Расчет на прочность с увеличенным количеством точек кернения

Для предотвращения выпадения подшипника из корпуса ШВ механизма было предложено увеличить количество точек кернения до 6 (рисунок 12).

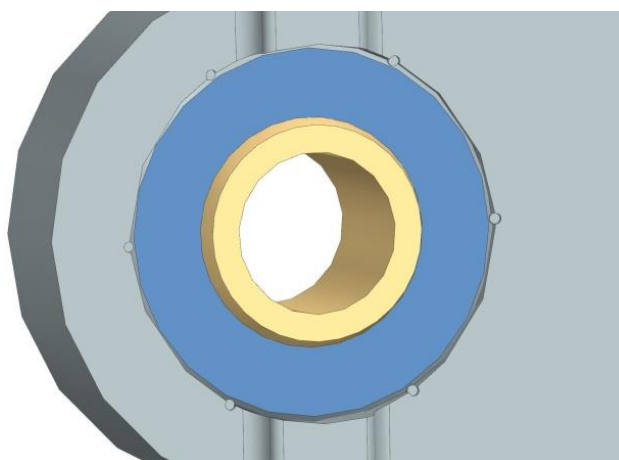


Рисунок 12 – Увеличенное количество точек кернения

Для расчета были взяты те же параметры, что и для проверочного расчета крепления подшипника на прочность при осевых нагрузках до изменения.

Результаты расчета приведены на рисунке 13. Сила, при котором произошло разрушение соединения, составила 1135 Н, распределение напряжений в корпусе, соответствующее максимальной силе, показано на рисунке 13. Следовательно, для выдавливания подшипника требуется осевое усилие в 3,3 раза больше по сравнению с первоначальным вариантом.

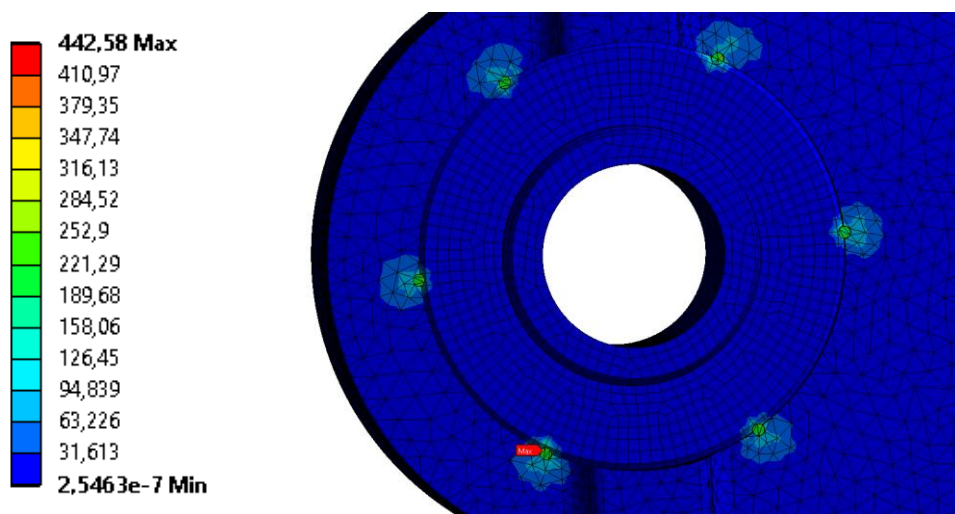


Рисунок 13 - Напряженное состояние, МПа

#### 2.4 Расчет на прочность при изменении конструкции, с применением стопорного кольца

Для предотвращения выпадения подшипника из корпуса ШВ механизма было предложено изменить конструкцию места установки подшипника, с применением стопорного кольца (рисунок 14). При установке подшипник упирается в стенку, с другой стороны выполнено стопорение с помощью стопорного кольца. Данный способ, как будет показано, способствует значительному увеличению прочности соединения в месте установки подшипника, а также улучшается ремонтпригодность.

При изменении конструкции места установки подшипника, согласно ГОСТ 13943-86 «Кольца пружинные упорные плоские внутренние эксцентрические и канавки для них. Конструкция и размеры», в канавку следует установить стопорное кольцо (рисунок 14) с условным диаметром кольца 35 (таблица 3).

Таблица 3 – Размеры упорного пружинного кольца и канавки

Условный диаметр кольца $d$	Кольцо									Канавка		
	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$b$	$\alpha$ , не более	$l$	$r_2$ , не более	$r_1$	$D_1$ , не более	$d_1$	$m$	$h$
35	37,8	32,8	2,5	4	5,4	10	2	3,5	23,2	37	1,4	3

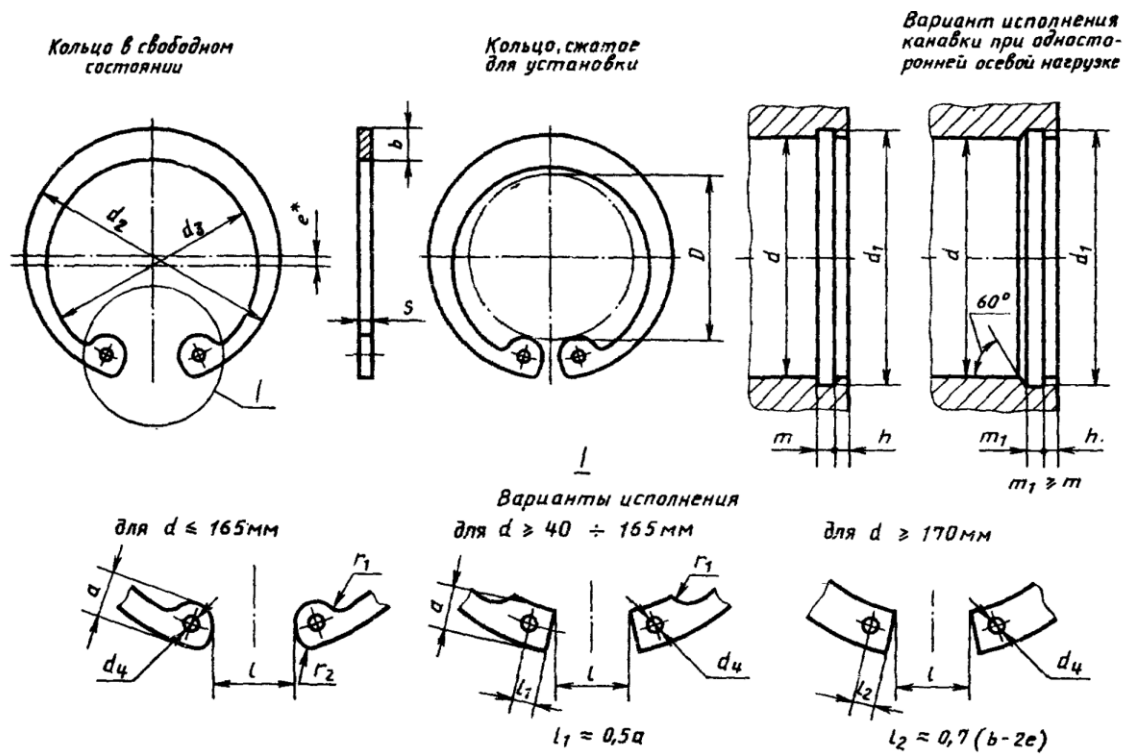


Рисунок 14 – Кольца пружинные упорные плоские внутренние эксцентрические и канавки для них



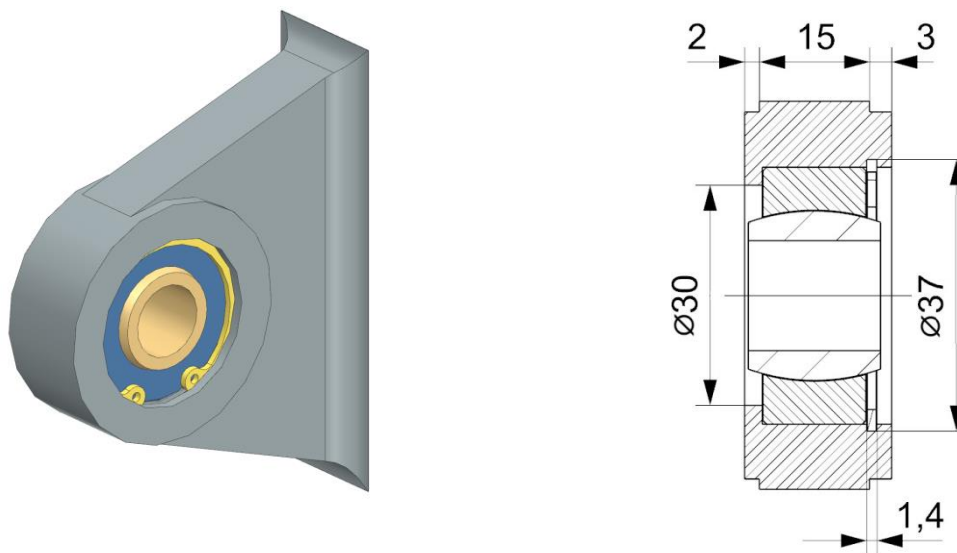


Рисунок 15 – Конструкция изменённого места установки подшипника

При дискретизации расчетной области была построена трехмерная сетка (рисунок 16).

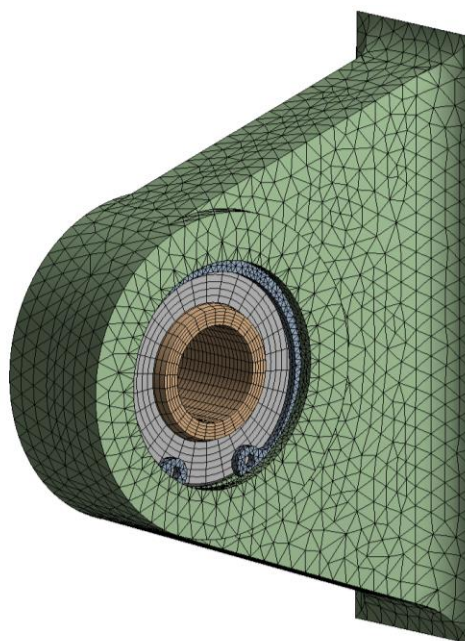


Рисунок 16 – Построение сетки

К внутреннему кольцу подшипника прикладывается сила, равная 5000 Н (рисунок 17). Ищется значение силы, при котором начинаются пластические деформации в материале корпуса и происходит выпадение подшипника.

F: Ring with force 5000  
 Force  
 Time: 1, s  
 24.01.2024 14:11  
 Force: 5000, N  
 Components: 5000;0;0, N

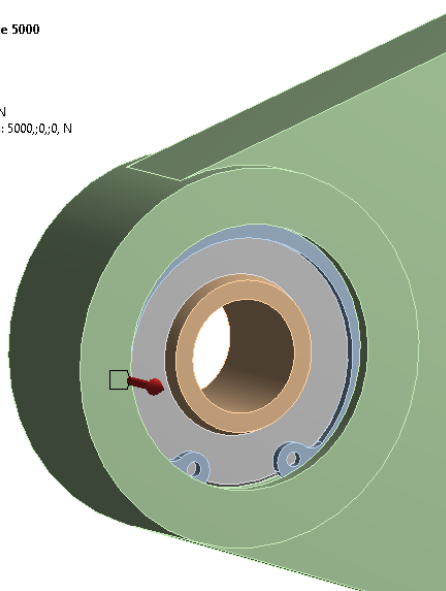


Рисунок 17 – Приложение силы

Результаты расчета приведены на рисунках 18 и 19. При приложенной силе 5000 Н максимальные напряжения в стопорном кольце составили 972 МПа (рисунок 18). На корпусе максимальные напряжения равны 336 МПа (рисунок 19), что превышает предел текучести материала Д16 (320 МПа), но предел прочности (450 МПа) не достигается и разрушение соединения не произойдет.

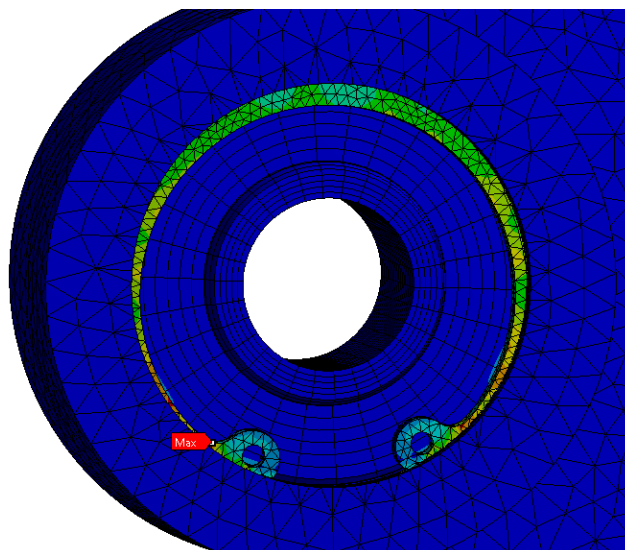
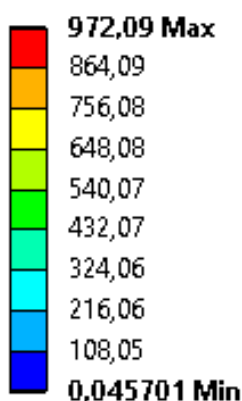


Рисунок 18 – Напряжения в стопорном кольце, МПа

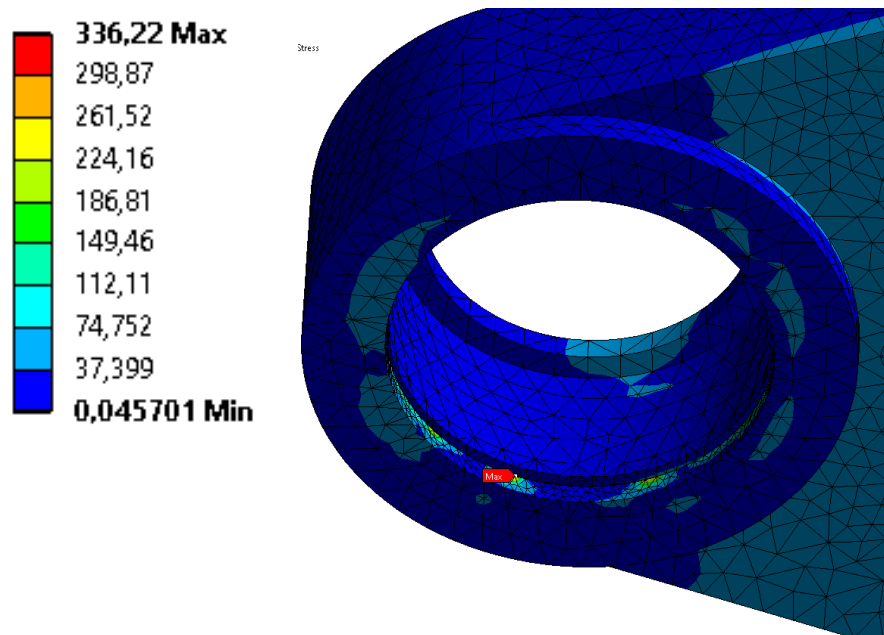


Рисунок 19 – Напряжения в корпусе при силе 5000Н, МПа

Проанализировав расчеты, приходим к выводу, что пластические деформации в корпусе не происходят при силе ниже 4720 Н (рисунок 20).

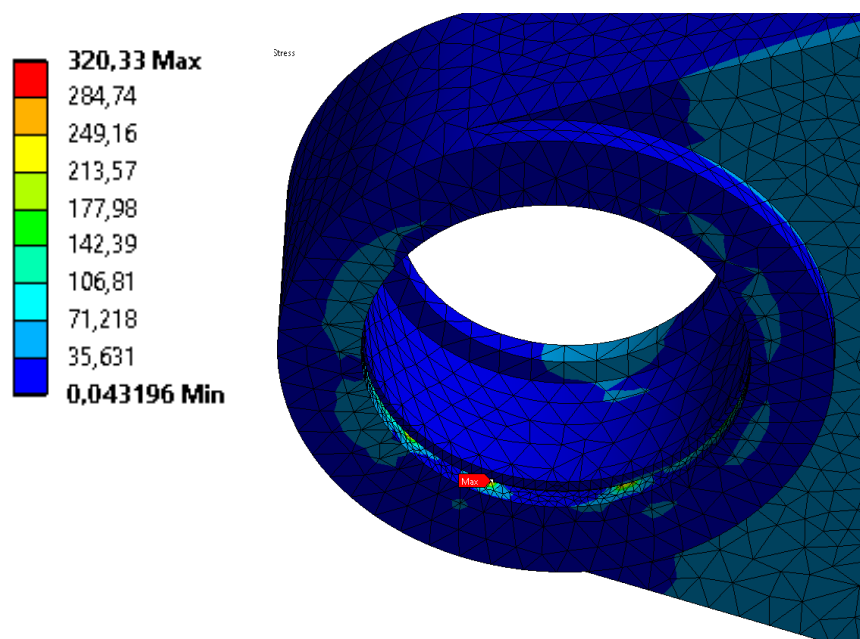


Рисунок 20 – Напряжения в корпусе при силе 4720 Н, МПа

## 2.5 Сравнительный анализ предложенных вариантов решения проблемы

Сравнительные результаты расчетов представлены в таблице 4.

					СКБ _____ .1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		19

Таблица 4 – Сравнительные результаты расчетов

Расчет	Сила, необходимая для разрушения, Н	Во сколько раз увеличилась сила, от первоначального	Напряжение в этот момент, МПа	Предел текучести Д16, МПа	Предел прочности Д16, МПа
Первоначальный вариант	345	-	449	320	450
Увеличение площади существующих точек кернения	655	1,9	448		
Увеличение количества точек кернения	1135	3,3	443		
Изменение конструкции с применением стопорного кольца	4720	13,6	320		

В таблице 5 представлены преимущества и недостатки рассмотренных выше предложений.

Таблица 5 – Преимущества и недостатки рассмотренных предложений

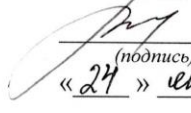
№	Предложение	Преимущества	Недостатки
1	Увеличение площади существующих точек кернения	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Можно без изменения конструкции доработать перед монтажом в условиях производства.</li> <li>• Низкая трудоемкость</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Незначительное увеличение прочности</li> </ul>
2	Увеличение количества точек кернения до 6 шт.		
3	Изменение конструкции с применением стопорного кольца	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Значительное увеличение прочности</li> <li>• Улучшение ремонтно-пригодности</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Изменение конструкции</li> </ul>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Начальник отдела ОНИПКРС

 Е.М. Димитриади

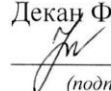
(подпись)  
«24» сентября 2024 г.

Проректор по научной работе

 А.В. Космынин

(подпись)  
«24» сентября 2024 г.

Декан ФАМТ

 О.А. Красильникова

(подпись)

АКТ

о приемке в эксплуатацию проекта

**Проектирование места крепления подшипника в шарико-винтовом механизме  
навески секций закрылка крыла самолёта**

г. Комсомольск-на-Амуре

«24» сентября 2024 г.

Комиссия в составе представителей:

со стороны заказчика

- Ю.Б. Колошенко – руководитель СКБ,
- О.А. Красильникова – декан ФАМТ

со стороны исполнителя

- Д.А. Потянихин – руководитель проекта,
- В.И. Абдулин – группа 8ТС-1

составила акт о нижеследующем:

«Исполнитель» передает проект «Проектирование места крепления подшипника в шарико-винтовом механизме навески секций закрылка крыла самолёта», в составе:

1. Проект в программном комплексе Siemens NX, содержащий геометрическую модель места установки подшипника в шарико-винтовом механизме, предназначенном для выпуска и уборки секции закрылка при взлете и посадке.

2. Проект в программном комплексе ANSYS, содержащий сеточную модель сборки и модель расчета прочности при статических нагрузках.

3. Методические рекомендации по применению методики проектирования и расчета на прочность подшипника и места установки подшипника в шарико-винтовом механизме.

Руководитель проекта

Давыд 30.01.2024  
(подпись, дата)

Д.А. Потянихин

Исполнитель проекта

Абдул 30.01.24  
(подпись, дата)

В.И. Абдулин