

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  
« 5 » февраля 2024 г.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

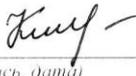
  
(подпись) А.В. Космынин  
« 5 » февраля 2024 г.

Декан ФАМТ

  
(подпись) О.А. Красильникова  
« 5 » февраля 2024 г.

«Конструирование механизмов навески и привода средств механизации  
крыла с элементами проектирования»  
Комплект конструкторской / проектной документации

Руководитель СКБ Авиастроение

  
(подпись, дата)

Ю.Б. Колошенко

Руководитель проекта

  
(подпись, дата)

А.В. Бобков

Комсомольск-на-Амуре 2024



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

СКБ «Авиастроение»

ЗАДАНИЕ  
на разработку

Название проекта: конструирование механизмов навески и привода средств механизации крыла с элементами проектирования

Назначение: улучшение производственного процесса путем внедрения САД-систем при изготовлении кронштейнов

Область использования: авиастроительные предприятия

Требования к научно-техническому продукту:

- функциональные: кронштейны - основные силовые элементы в механизмах рулевых поверхностей

- технические: обеспечить точность геометрических параметров кронштейнов, обеспечить требуемые прочностные характеристики

План работ:

Наименование работ	Срок
Подготовка исходной информации для расчета, построение геометрических обводов закрылка крыла, определение нагрузки, действующей на закрылок	Февраль 2024
Конструирование и расчёт механизмов навески отклоняемого закрылка, расчёт ушкового элемента кронштейна с подшипником	Март 2024
Расчёт и конструирование левого кронштейна навески механизации крыла	Апрель 2024
Расчёт и конструирование правого кронштейна навески механизации крыла	Май 2024

Перечень отчетных материалов:

Электронные модели левого и правого кронштейна, схемы нагрузки болтов и расчета корпуса правого кронштейна, схема расчета корпуса левого кронштейна, схема нагрузки болтов левого кронштейна, схема определения реакций в опорах

Требования к содержанию основного раздела пояснительной записки к проекту:

1 Подготовка исходной информации для расчета

1.1 Лётно-технические характеристики самолёта Fi-156

1.2 Построение геометрических обводов закрылка крыла

1.3 Определение нагрузки, действующей на закрылок

2 Конструирование и расчёт механизмов навески отклоняемого закрылка

2.1 Определение опорных реакций

2.2 Проектирование механизмов навески

2.3 Расчёт ушкового элемента кронштейна с подшипником

2.4 Расчёт и конструирование левого кронштейна навески механизации

крыла

2.5 Расчёт и конструирование правого кронштейна навески механизации

крыла

Комментарии:

---

---

---

---

---

Руководитель проекта

\_\_\_\_\_

(подпись, дата)

А.В. Бобков

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

СКБ «Авиастроение»

**Пояснительная записка к проекту**  
**«Конструирование механизмов навески и привода средств механизации**  
**крыла с элементами проектирования»**

Руководитель проекта

\_\_\_\_\_

*(подпись, дата)*

А.В. Бобков

Комсомольск-на-Амуре 2024

## Содержание

Введение.....	7
1 Подготовка исходной информации для расчета .....	8
1.1 Лётно-технические характеристики самолёта Fi-156 .....	8
1.2 Построение геометрических обводов закрылка крыла .....	9
1.3 Определение нагрузки, действующей на закрылок .....	10
2 Конструирование и расчёт механизмов навески отклоняемого закрылка ...	12
2.1 Определение опорных реакций .....	12
2.2 Проектирование механизмов навески .....	13
2.3 Расчёт ушкового элемента кронштейна с подшипником .....	13
2.4 Расчёт и конструирование левого кронштейна навески механизации крыла .....	14
2.5 Расчёт и конструирование правого кронштейна навески механизации крыла .....	18
Заключение .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Список использованных источников .....	23

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

## Введение

Рулевые поверхности летательного аппарата являются подвижными и выполняют определенные функции в полете. Кронштейны являются основными силовыми элементами в механизмах рулевых поверхностей, в следствии чего, к ним предъявляют высокие требования надежности.

При изготовлении кронштейна необходимо обеспечить высокую точность его геометрических параметров, а так же высокие прочностные характеристики, что имеет повышенную трудоемкость и затраты в процессе производства.

					<b>СКБ Авиастроение.1.ИП.01000000</b>	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		7

## 1 Подготовка исходной информации для расчета

### 1.1 Лётно–технические характеристики самолёта Fi–156

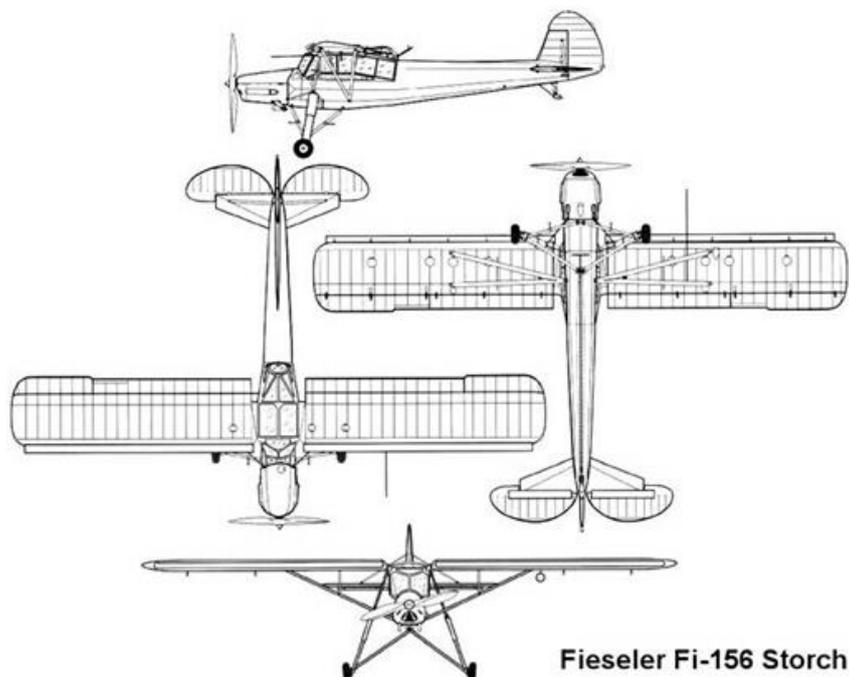


Рисунок 1.1 – Виды самолёта Физелер Fi–156 «Шторх»

Самолет Физелер Fi–156 «Шторх» (рисунок 1.1) – подкосный моноплан, по назначению ближний разведчик. Экипаж – два человека. Конструкция смешанная, с применением дерева, стали и легких сплавов. Крыло с верхним расположением. Консоли крепятся к специальным узлам на каркасе фонаря кабины, а также к нижнему лонжерону фюзеляжа парой подкосов из стальных профилированных труб с каждой стороны.

Таблица 1.1 – Характеристика самолёта Физелер Fi–156 «Шторх»

Характеристика самолёта Физелер Fi–156 «Шторх»	
Тип	Подкосный моноплан смешанной конструкции с высоко расположенным крылом
Мотор	Аргус As 10с. 220 л.с., воздушного охлаждения
Экипаж	2 – 3 человека
Размеры	Размах – 14,25 м Длина – 9,9 м Высота – 3,05 м
Площадь крыла	26 м <sup>2</sup>
Вес	Пустого самолета – 860 кг Полной нагрузки – 400 кг

	Полетный – 1260 кг
Нагрузка	На 1 м <sup>2</sup> крыла – 48,5 кг На 1 л.с. – 5,75 кг
Скорости полета	Максимальная – 175 км/ч на высоте 100 м Крейсерская – 150 км/ч на высоте 100 м Посадочная – 40 км/ч
Время подъема на высоту 3000 м	15,6 мин
Рабочий потолок	4900 м
Дальность полета	380 км
Разбег самолета	60 м
Пробег	40 м (при встречном ветре в 3 м/с пробег не превышает 10м)

## 1.2 Построение геометрических обводов закрылка крыла

Вычислим посадочную скорость самолета с помощью формулы, предварительно определив значения составляющих:

$$V_{z.p} := 11.11$$

Далее определим необходимые геометрические параметры, такие как, хорда крыла (м), длина закрылка (м), хорда закрылка (м), видимая часть закрылка, средняя относительная толщина профиля крыла (%) и максимальный угол (°) отклонения закрылка:

$$b := 2.035$$

$$l_z := 6.7$$

$$b_z := 0.41$$

$$K := 0.3075$$

$$C_{\text{относ}} := 14$$

$$\delta := 40$$

Используя эти параметры, находим на и выгоднейшие значения высоты щели (м) и расстояние (м) до носика закрылка в выпущенном состоянии:

$$d := 0.027$$

					<b>СКБ Авиастроение. 1.ИП.01000000</b>	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		9

$$h := 0.033$$

Строим контур профиля закрылка и определяем точку его поворота при выпуске.

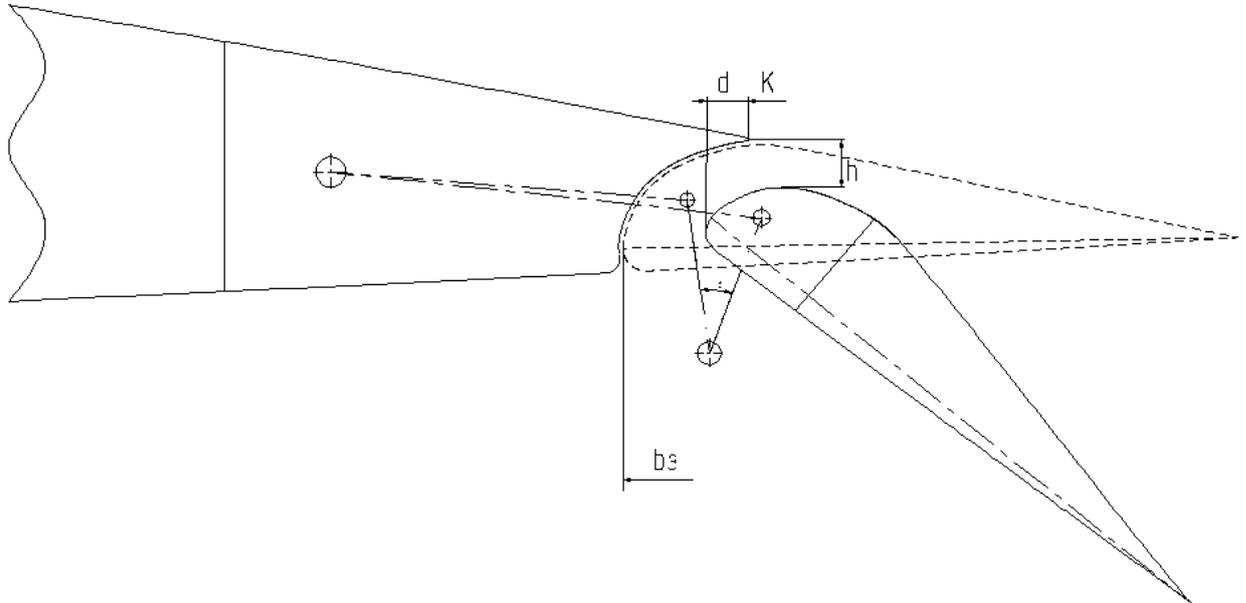


Рисунок 1.1 – Геометрические параметры закрылка

### 1.3 Определение нагрузки, действующей на закрылок

Определим плотность воздуха у земли ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) и вычислим расчетное значение скоростного напора (Па):

$$\rho_0 := 1.225$$

$$q^1_{\text{расчётное}} := \frac{\rho_0 \cdot V_{z.p}^2}{2} = 75.602$$

Так как полученное значение меньше предельно допустимого, то за расчетное принимаем:

$$q := 1800$$

Определим значение аэродинамического коэффициента, коэффициента безопасности и площади закрылка ( $\text{м}^2$ ), после чего по формуле вычислим значение полной аэродинамической силы (Н), действующей на закрылок:

					<b>СКБ Авиастроение.1.ИП.01000000</b>	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		10

$$C_z := 1.06 \quad S_z := 1.47$$

$$f := 2$$

$$P := \frac{C_z \cdot f \cdot S_z \cdot q}{3} = 1869.84$$

Полная аэродинамическая сила прикладывается в центре давления, то есть на расстояние, равном 40% от хорды закрылка, перпендикулярно плоскости хорд закрылка.

					<b>СКБ Авиастроение.1.ИП.01000000</b>	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		11

## 2 Конструирование и расчёт механизмов навески отклоняемого закрылка

### 2.1 Определение опорных реакций

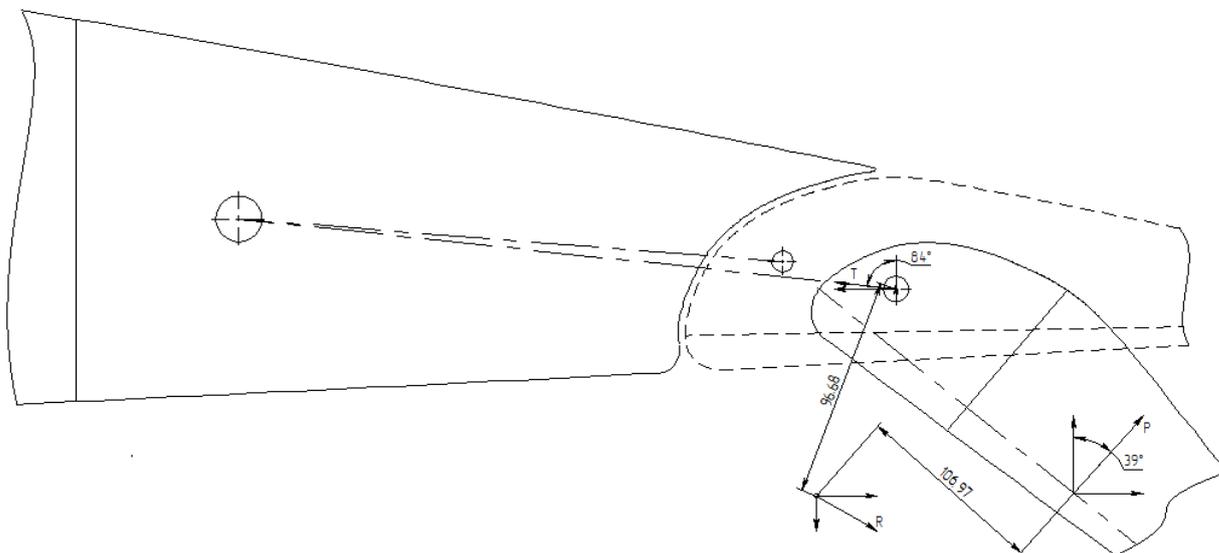


Рисунок 2.1 – Схема определения реакций в опорах

Определим усилия в тяге привода ( $H$ ), упростив уравнение суммы моментов в точке шарнира навески:

$$T := \frac{ap \cdot P}{2 \cdot at} = 1034$$

Определяем проекции опорной реакции в шарнире навески на оси  $X$  и  $Y$ , после чего определяем саму опорную реакцию:

$$\text{Cos}39 := 0.777 \quad \text{Cos}84 := 0.104 \quad \text{Sin}39 := 0.629 \quad \text{Sin}84 := 0.994$$

$$R_x := P \cdot \text{Cos}39 - T \cdot \text{Cos}84 = 1345.285$$

$$R_y := P \cdot \text{Sin}39 - T \cdot \text{Sin}84 = 147.909$$

$$R := \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = 1353.392$$

$$R = 135.3 \text{ даН}$$

## 2.2 Проектирование механизмов навески

При проектировании механизмов навески определяют конструктивные и геометрические параметры рычажных узлов и кронштейнов навески закрылка с учетом выбора материалов, нормалей крепежа, втулок или подшипников, обеспечивающих работоспособность механизма при его минимальной массе при восприятии действующей расчетной нагрузки. Поскольку мы уже определили, что ось поворота закрылка находится за пределами крыла, то навес осуществим с помощью выносных кронштейнов с ушковым элементом.

## 2.3 Расчёт ушкового элемента кронштейна с подшипником

Выбираем подшипник с динамической нагрузкой большей, чем опорная реакция. Нам подходит подшипник 981065Ю с параметрами:

$$D_p := 20 \quad d_p := 5$$

$$B := 8 \quad c := 0.5 \quad r := 0.5 \quad b := 7$$

Тогда размер проушины (мм), согласно подшипнику, будет равен:

$$D_{pr} := D_p + 2 \cdot 14 = 48 \quad h_{pr} := b + 2 \cdot 0.2 = 7.4$$

Подберем болт 30ХГСА с R=3730 даН, с диаметром 8 мм.

					<b>СКБ Авиастроение.1.ИП.01000000</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		13

## 2.4 Расчёт и конструирование левого кронштейна навески механизации крыла

Расчет болтового соединения левого кронштейна.

Зададим количество болтов равное трём, после чего назначим один из них началом системы координат и определим координаты (мм), центра жесткости соединения:

$$n := 3 \quad X_{ц.ж} := 0 \quad Y_{ц.ж} := 41.56$$

Переносим проекции опорной силы (Н) в центр жесткости, добавляя кутящий момент от данных сил относительно центра жесткости. Момент (Н\*мм) равен:

$$P_x := 1176.829 \quad P_y := 1453.26 \quad M := P_y \cdot a_{ц.ж} = 374345.243$$

Определяем и прикладываем срезающие силы (Н) на каждый крепежный элемент от проекций опорной силы в их направлении:

$$P_{xi} := \frac{P_x}{n} = 392.276 \quad P_{yi} := \frac{P_y}{n} = 484.42$$

Определяем дополнительную срезающую силу (Н) на крайние крепежные элементы от момента:

$$y_1 := 0 \quad y_2 := 41.56 \quad y_3 := 83.12$$

$$r_1 := \sqrt{(Y_{ц.ж} - y_1)^2} = 41.56 \quad r_2 := \sqrt{(Y_{ц.ж} - y_2)^2} = 0$$

$$r_3 := \sqrt{(Y_{ц.ж} - y_3)^2} = 41.56$$

$$N_i := 4503.67$$

Определяем суммарную силу (Н) на наиболее нагруженный элемент:

$$R_1 := \sqrt{(P_{xi} + N_i)^2 + P_{yi}^2} = 4919.853$$

					<b>СКБ Авиастроение.1.ИП.01000000</b>	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		14

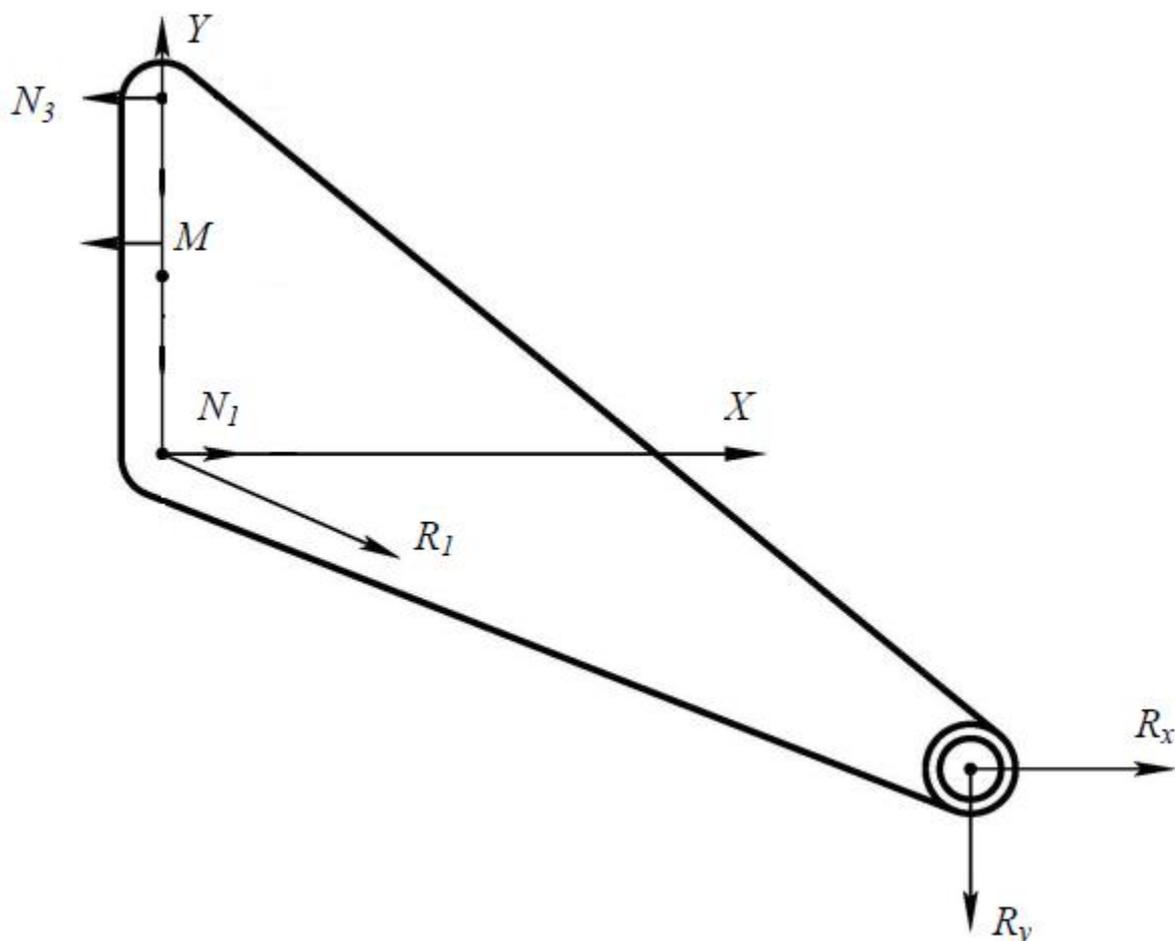


Рисунок 2.2 – Схема нагрузки болтов левого кронштейна

Определяем диаметр болта (мм) из условия работы на срез, материал для болта выберем 30ХГСА:

$$\tau_B := 156.9 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \quad d_1 := 2 \cdot \sqrt{\frac{R1}{\pi \cdot \tau_B}} = 8$$

Расчет корпуса левого кронштейна.

Создадим новую систему координат с осями  $X'$  и  $Y'$ . Спроецируем опорную силу на новые оси:

$$R_{x_{\text{штрих}}} := 1116.502 \quad R_{y_{\text{штрих}}} := 504.064$$

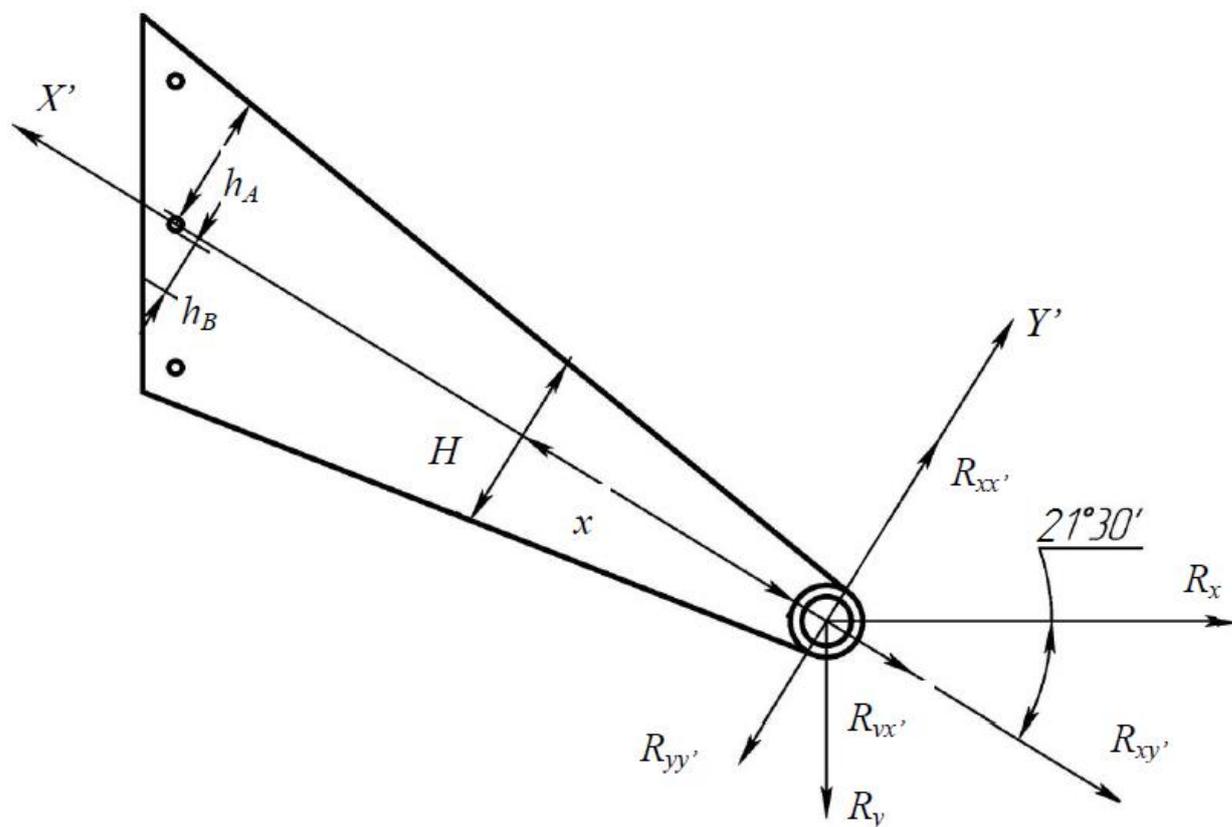


Рисунок 2.3 – Схема расчета корпуса левого кронштейна

Кронштейн выполним штамповкой из материала АК8, предел прочности которого равен:  $\sigma_B = 440 \text{ Н мм}^2$ .

Разобьем кронштейн на 10 сечений, с равным интервалом, а так же в сечениях ослабленных отверстиями. Определяя для каждого сечения координату по оси  $X'$  и высоту, будем вычислять минимальную толщину кронштейна в сечение, и записывать в таблицу. Формула для вычисления толщины не ослабленного сечения будет выглядеть так:

$$\delta = \frac{\sqrt{\left(\frac{12 \cdot R_{y'} \cdot x \cdot H_i}{2 \cdot H_i^3} + \frac{R_{x'}}{H_i}\right)^2 + 4 \left(\frac{R_{y'}}{H_i}\right)^2}}{\sigma_e}$$

Проведем расчёт, для каждого сечения, результат занесем в таблицу.

Таблица 2.1 – Толщина кронштейна в неослабленных сечениях

x, (мм)	27,7	55,39	83,09	110,79	138,49	166,19	193,89	221,59	249,29
H <sub>i</sub> , (мм)	27,12	37,42	47,9	58,43	68,87	79,19	89,58	100,09	110,39
δ, (мм)	0,326	0,345	0,306	0,269	0,24	0,216	0,196	0,179	0,165

Формулы для вычисления толщины ослабленного сечения и таблица расчетов будут выглядеть так:

$$Y_A = \frac{h_A}{2} + d_i + h_B;$$

$$Y_B = \frac{h_B}{2};$$

$$Y_T = \frac{h_B \cdot Y_B + h_A \cdot Y_A}{h_A + h_B};$$

$$I/\delta = \frac{h_B^3}{12} + \frac{h_A^3}{12} + h_B \cdot (Y_B - Y_T)^2 + h_A \cdot (Y_A - Y_T)^2;$$

$$\delta = \frac{\sqrt{\left( \frac{R_{y'} \cdot x \cdot H_i}{2 \cdot I} + \frac{R_{x'}}{H_i} + \frac{R_{x'} \cdot (Y_T - H_i/2) \cdot (Y_T - h_B)}{I} \right)^2 + 4 \left( \frac{R_{y'}}{H_i} \right)^2}}{\sigma_s}.$$

Таблица 2.2 – Толщина кронштейна в ослабленных сечениях

h <sub>A</sub> , (мм)	103,14	61,59	17,18
h <sub>B</sub> , (мм)	53,3	60,02	42,13
Y <sub>A</sub> , (мм)	112,87	98,815	58,72
Y <sub>B</sub> , (мм)	26,65	30,01	21,065
Y <sub>T</sub> , (мм)	83,494	64,857	31,972
I/δ, (мм <sup>3</sup> )	365300	181400	239600
x, (мм)	258,7	276,94	294,57
H <sub>i</sub> , (мм)	106,66	98,5	59,41
δ, (мм)	0,076	0,115	0,093

Так как полученные толщины меньше минимально допустимой из условий технологичности, то толщину кронштейна примем равной 3 мм.

Проверим так же толщину (мм), кронштейна из условия работы на смятие:

$$\delta := \frac{8551.358}{8 \cdot 1.1 \cdot 440} = 2.209 \quad \text{Проходит.}$$

## 2.5 Расчёт и конструирование правого кронштейна навески механизации крыла

Методика расчета болтового соединения правого кронштейна идентична методике расчета левого кронштейна, тогда опустив аннотации можем записать:

$$n := 4 \quad X_{ц.ж} := 10.085 \text{ мм}$$

$$Y_{ц.ж} := 9.855 \text{ мм}$$

$$M := R_x \cdot a_{ц.ж} = 104649.72 \text{ (Н·мм)}$$

$$P_{xi} := \frac{P_x}{n} = 294.207 \text{ Н}$$

$$P_{yi} := \frac{P_y}{n} = 363.315 \text{ Н}$$

$$N_i := 2663 \text{ Н}$$

$$R_3 := \sqrt{(P_{x3} + N_{3x})^2 + (P_{y3} + N_{3y})^2} = 2404.951 \text{ Н}$$

$$\tau_B := 156.9 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \quad d_i := 2 \cdot \sqrt{\frac{R_3}{\pi \cdot \tau_B}} = 8 \text{ мм.}$$

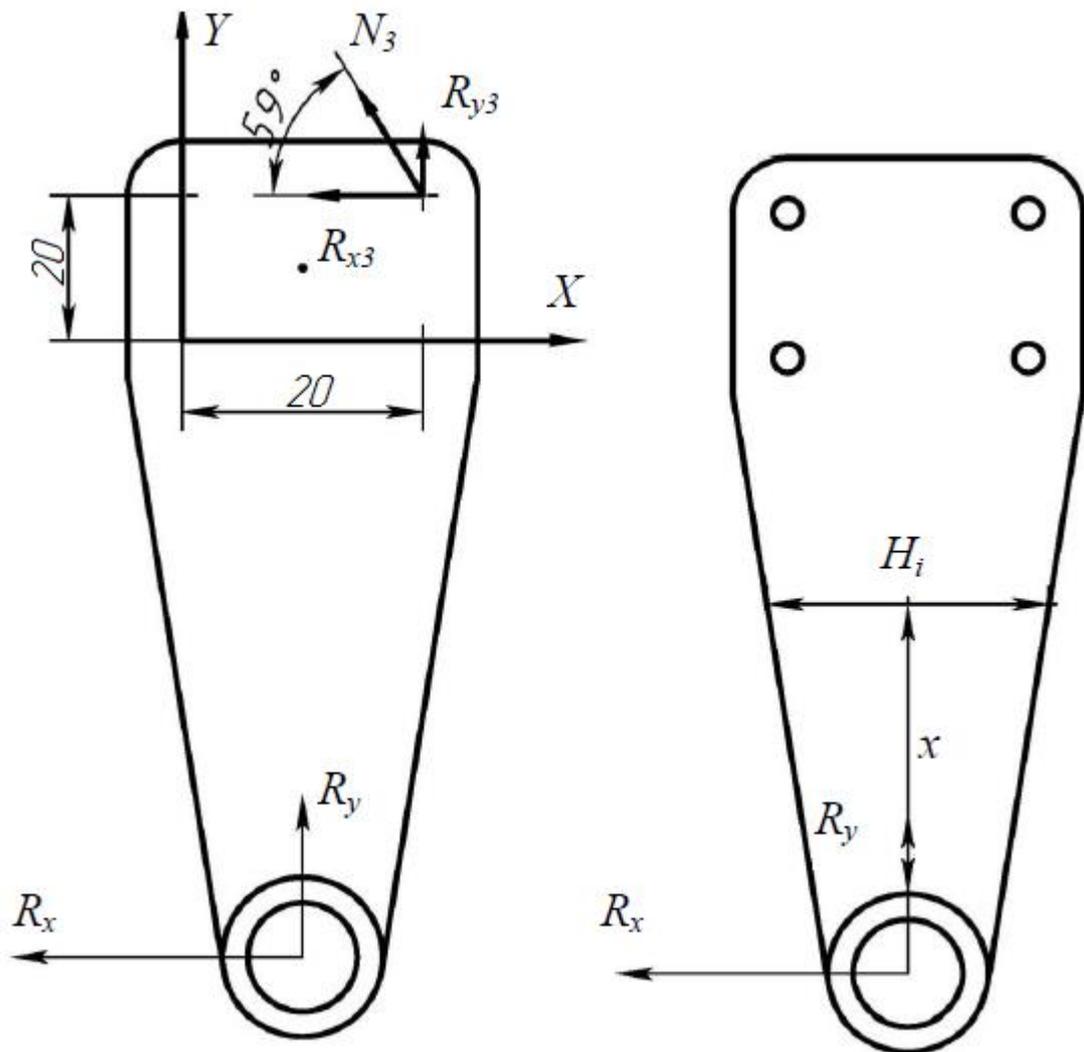


Рисунок 2.4 – Схемы нагрузки болтов и расчета корпуса правого кронштейна

Расчёт корпуса правого кронштейна.

Создадим новую систему координат с осями  $X'$  и  $Y'$ . Спроецируем опорную силу на новые оси:

$$R_{x'} = 1116,502 \text{ Н};$$

$$R_{y'} = 504,064 \text{ Н}.$$

Разобьем кронштейн на 10 сечений, с равным интервалом, а также в сечениях, ослабленных отверстиями. Определяя для каждого сечения координату и высоту, будем вычислять минимальную толщину кронштейна в сечении, и записывать в таблицу.

Учитываем ослабление сечения отверстиями пропорциональным уменьшением площади сечения.

Таблица 2.3 – Толщина кронштейна в зависимости от сечения

x, (мм)	9,78	19,56	29,34	38,88	48,88	58,65	68,43	78,21	87,99
H <sub>i</sub> , (мм)	16,01	20,17	27,95	31,7	35,72	40	40	40	40
δ, (мм)	0,444	0,47	0,358	0,353	0,34	0,321	0,362	0,404	0,445

Так как полученные толщины меньше минимально допустимой из условий технологичности, то толщину кронштейна примем равной 3 мм.

При анализе вероятности отказов/безотказной работы кронштейнов было выявлено, что с увеличением количества наработки, вероятность отказов значительно увеличивается, это происходит вследствие воздействия повышенных нагрузок. Создание электронных моделей позволит на этапе проектирования задавать действующие нагрузки и определить места усиления конструкции.

Электронные модели левого и правого кронштейна представлены на рисунке 2.5.

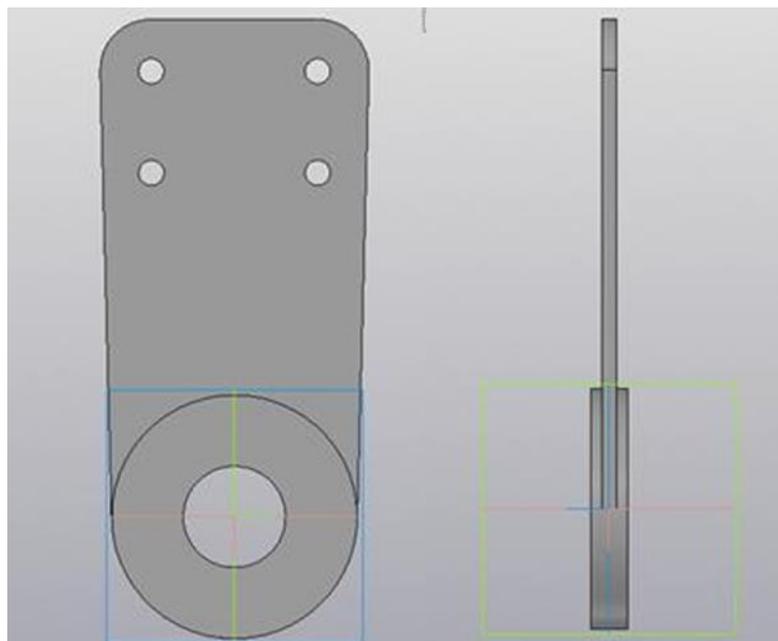
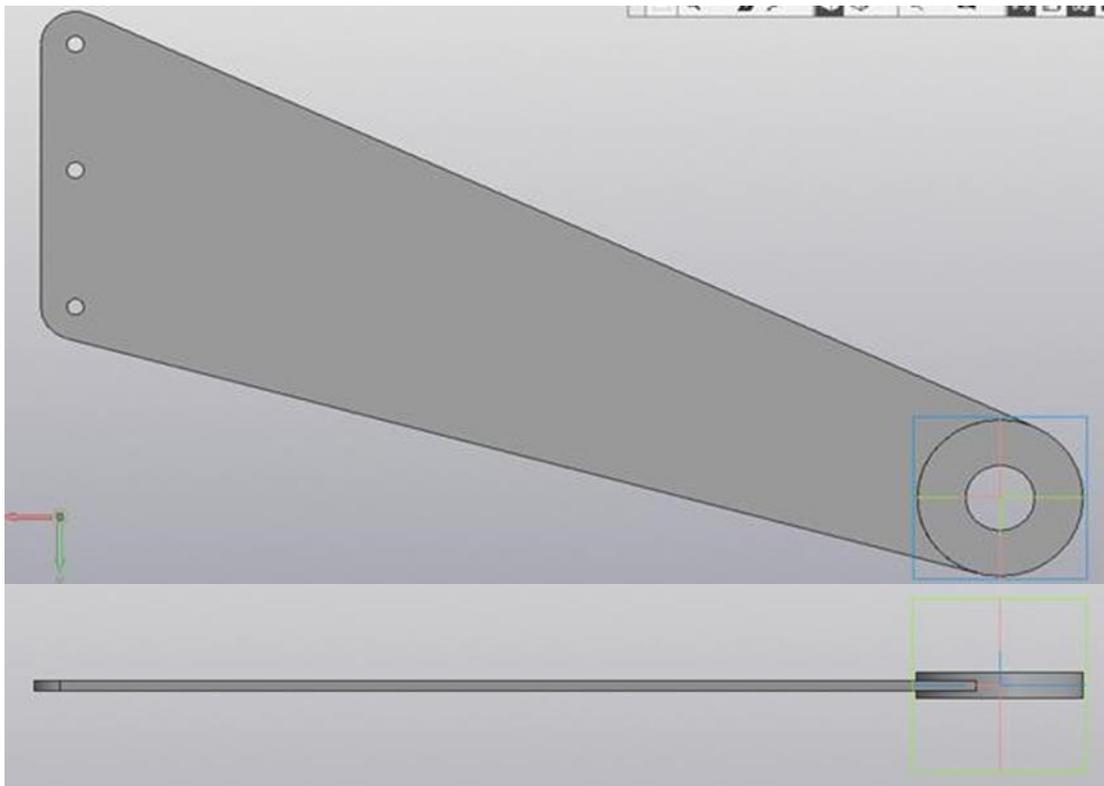
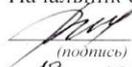


Рисунок 2.5 – Электронные модели левого и правого кронштейна

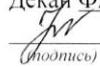
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Начальник отдела ОНиПКРС  
 Е.М. Димитриади  
(подпись)  
«13» июля 2024 г.

Проректор по научной работе  
 А.В. Космынин  
(подпись)  
«13» июля 2024 г.

Декан ФАМТ  
 О.А. Красильникова  
(подпись)

АКТ

о приемке в эксплуатацию проекта  
«Конструирование механизмов навески и привода средств механизации  
крыла с элементами проектирования»

г. Комсомольск-на-Амуре

«13» июля 2024 г.

Комиссия в составе представителей:

со стороны заказчика

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

со стороны исполнителя

- А.В. Бобков – руководителя проекта,
- Е.А. Щенников – ЗАСб-ПП.

составила акт о нижеследующем:

					СКБ Авиастроение.1.ИП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		22

«Исполнитель» передает проект «Конструирование механизмов навески и привода средств механизации крыла с элементами проектирования», в составе:

1. Электронная модели левого и правого кронштейна.
2. схемы нагрузки болтов и расчета корпуса правого кронштейна, схема расчета корпуса левого кронштейна, схема нагрузки болтов левого кронштейна.

Руководитель проекта  \_\_\_\_\_ А.В. Бобков  
(подпись, дата)

Исполнители проекта  \_\_\_\_\_ Е.А. Щенников  
(подпись, дата)

					<b>СКБ Авиастроение.1.ИП.01000000</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		23