

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»  
(Самарский университет)

## КОНСТРУИРОВАНИЕ САМОЛЕТОВ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве методических указаний для студентов Самарского университета, обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 24.03.04, 24.04.04 Авиастроение, 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств и специальности 24.05.07 Самолето- и вертолетостроение

Составитель Г.А. Резниченко

САМАРА  
Издательство Самарского университета  
2017

УДК 629.7.01(075)  
ББК 68.53я7

Составитель *Г.А. Резниченко*

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. В. Х и в и н ц е в

**Конструирование самолетов:** метод. указания / сост. *Г.А. Резниченко*. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – 44 с.

Изложены методики выполнения лабораторных работ по курсу конструкции и проектирования самолета. Приведены перечень нормативно-технической документации и справочной литературы, необходимой для выполнения задания, а также пример выполнения и оформления задания.

Предназначены для студентов 4-го курса специальности 24.05.07 и направлений 15.03.04, 24.03.04, 24.04.04, изучающих курсы конструкции и проектирования.

Разработано на кафедре конструкции и проектирования летательных аппаратов.

УДК 629.7.01(075)  
ББК 68.53я7

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Занятие № 1. Анализ задания. эскизирование деталей-аналогов.....	6
Пример отчета по занятию №1. Анализ задания. Эскизирование деталей-аналогов .....	8
Занятие №2. Уравновешивание детали. Подбор стандартных изделий. Выбор конструктивно-силовой схемы. Назначение расчетной схемы и определение усилий в элементах детали.....	11
Пример отчёта по занятию №2. Уравновешивание детали. Подбор стандартных изделий. Выбор конструктивно-силовой схемы. назначение расчетной схемы и определение усилий в элементах детали.....	14
Занятие №3. Определение прочных размеров детали с учётом технологических факторов и ограничений .....	26
Пример отчёта по занятию №3. Определение прочных размеров детали с учётом технологических факторов и ограничений .....	28
Занятие №4. Выполнение чертежа детали .....	36
Пример отчёта по занятию №4. Выполнение чертежа детали .....	37
Библиографический список .....	39
Приложение. Задания к лабораторным работам .....	40

## ВВЕДЕНИЕ

Лабораторно-практическая работа «Проектирование детали ЛА» логично продолжает цикл лабораторных работ по курсу «Основы устройства самолетов».

Выполняя предлагаемую работу, студент перекидывает мостик от небольших частных конструкторских задач к первой самостоятельной полноценной работе, включающей в себя весь проектный цикл: техническое задание, схемная провязка, нагрузки, конструктивно-силовая схема, проектировочные расчеты, проработка технологии изготовления и, наконец, рабочий чертеж спроектированной детали.

Работа проводится в кабинете конструкций самолетов с использованием реальных образцов авиационной техники.

При выполнении работы студент приобретает навыки конструирования, проведения инженерного анализа, выбора возможных конструктивных решений на основе оценки реальных образцов конструкции.

Студент учится применять теоретические знания в практической работе, пользоваться справочной литературой и стандартами, оформлять техническую документацию.

Лабораторно-практическая работа организационно строится в виде четырех отдельных занятий по 2 часа. При этом процесс конструирования детали условно разбивается на 4 этапа:

1. Анализ задания. Изучение деталей-аналогов.
2. Уравновешивание детали. Подбор стандартных изделий. Выбор конструктивно-силовой схемы. Назначение расчетной схемы. Определение усилий в элементах детали.
3. Определение прочных размеров детали с учетом технологических факторов и ограничений.
4. Выполнение чертежа детали.

Расчеты по каждому этапу оформляются в пояснительной записке в соответствии с требованиями к оформлению учебных текстовых документов.

В тексте записки должны быть приведены: обоснование конструктивно-силовой схемы (КСС), все расчеты, объяснения по выбору нормалей, технологические обоснования. Расчеты иллюстрируются эскизами.

Эскизы и рабочий чертёж детали выполняются на отдельных

листах бумаги стандартного формата с соблюдением требований ЕСКД. Чертежи детали должны быть выполнены применительно к серийному производству. На поле чертежа должна быть дана информация, содержащая специальные требования, необходимые для изготовления и контроля детали.

## ЗАНЯТИЕ № 1. АНАЛИЗ ЗАДАНИЯ. ЭСКИЗИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ-АНАЛОГОВ

Содержание занятия:

1. Получение задания.
2. Анализ задания. Определение назначения детали и условий ее работы. Разработка требований к детали.
3. Инженерный анализ деталей-аналогов. Эскизирование деталей и их отдельных элементов.

Необходимые пояснения и рекомендации:

1. Библиотека заданий (см. приложение) содержит различные варианты кронштейнов навески руля, элерона, закрылка (задания 1, 2, 3) и качалок управления (задания 4, 5). Причем в заданиях 1, 2, 3 может быть предложен к проектированию либо кронштейн со стороны крыла или стабилизатора, либо кронштейн со стороны руля, элерона, закрылка (например: задание 1 ст. – кронштейн стабилизатора, 1 р. – кронштейн руля).

Исходные данные, необходимые для проектирования детали, формируются при проектировании узла, в который эта деталь входит. Эскиз, приведённый в задании, содержит информацию о функции детали, её взаимосвязи с другими деталями, габаритные ограничения (объём пространства, в котором может быть размещена деталь). Расчетные условия для детали приведены в таблице.

2. Получив задание, прежде всего определите назначение детали, условия ее работы, характер нагружения. Проанализируйте работу агрегатов, которые заданная деталь соединяет. Уяснив функциональные особенности и условия работы агрегатов, легко перейти к разработке требований к проектируемой детали.

Требования к детали определяют в общем виде совокупность ее свойств и диктуются назначением и условиями работы с учетом статистических данных по производству и эксплуатации аналогичных деталей.

Приступая к разработке конструкции детали, необходимо сформулировать как минимум функциональные требования, требование минимальной массы детали и производственно-технологические требования.

Выполнить эту работу Вам поможет проработка учебной и периодической литературы [1, 2, 3].

3. Дополнить информацию об условиях работы детали может инженерный анализ деталей аналогичного назначения на агрегатах, представленных в кабинете конструкций самолетов.

Инженерный анализ детали предусматривает изучение опыта предшественников с целью использования в проектируемой детали как ранее разработанных и испытанных в эксплуатации элементов, так и апробированных подходов и методик конструирования. Использование опыта предшественников позволяет решать частные задачи, возникающие при конструировании с минимальными затратами времени.

Выполнение этого этапа предусматривает решение следующих вопросов:

1. Назначение детали и условия ее работы.
2. Материал и способ изготовления.
3. Конструктивное оформление отдельных элементов детали (проушины, подошвы, тела детали и зон перехода).
4. Качественная оценка технологичности детали.
5. Возможный вариант расчетной схемы, используемый при конструировании детали.
6. Характеристика используемых нормалей.

Далее подберите 3–4 детали-аналога на агрегатах, установленных в кабинете конструкций самолетов, дайте по ним необходимые пояснения, отвечая на поставленные вопросы. Выполните эскизы деталей-аналогов.

## ПРИМЕР ОТЧЕТА ПО ЗАНЯТИЮ №1. АНАЛИЗ ЗАДАНИЯ. ЭСКИЗИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ-АНАЛОГОВ

1. Задание: спроектировать качалку управления, выполнить рабочий чертеж (рис. 1).

2.

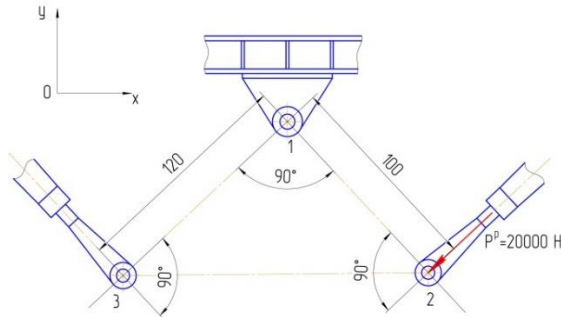


Рис. 1. Задание на лабораторную работу

3. Анализ задания. Определение назначения детали и условий ее работы. Разработка требований к детали.

Необходимо спроектировать качалку проводки управления (рис. 1). Качалка подвешена в точке 1 к каркасу планера самолета. В точках 2 и 3 к качалке подводятся тяги управления. Направление действия сил совпадает с осями тяг.

*Качалка предназначена:*

- для изменения направления движения тяги;
- изменения величины усилия в тяге;
- поддержки тяг проводки управления.

*Условия работы качалки:*

- предположим, качалка установлена в негерметичном отсеке, доступ для осмотра затруднен;
- окружающая среда – воздух; температура эксплуатации от  $-60$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ ;
- ограничений отклонению качалки со стороны соседних деталей нет.

Сформулируем требования к проектируемой детали. Прежде всего, это требования, вытекающие из требований к проводке управления, частью которой является деталь:



- минимальное трение и люфты в сочленениях детали с тягами и кронштейном подвески;
- исключение возможности заклинивания и заедания в сочленениях при максимальных перемещениях тяг и деформациях деталей каркаса.

Кроме этого, к детали предъявим дополнительные требования:

- качалка должна иметь минимальную массу;
- достаточную прочность и жесткость;
- ресурс, равный ресурсу планера самолета;
- при производстве качалки должен использоваться технологический процесс, обеспечивающий серийное производство с минимальными затратами;
- должна быть обеспечена возможность установки детали без дополнительной подгонки при сборке проводки управления;
- при определении формы и сечений детали должны быть использованы апробированные ранее решения.

4. Для анализа рассмотрим качалки, приведенные на стенде «Детали управления» в кабинете конструкций самолетов, и качалку в проводке управления рулем высоты самолета МиГ-17.

Эскизы качалок, аналогичных проектируемой, приведены на рис. 2.

*Качалка 1* (рис. 2а) установлена в киле самолета МиГ-17, служит для поддержки проводки управления и изменения направления тяги. Деталь выполнена из деформируемого алюминиевого сплава методом горячей штамповки.

К проушинам качалки в точках 2 и 3 крепятся тяги проводки управления. В этих местах в проушины запрессованы подшипники. Толщина детали между точками 2 и 3 определена шириной подшипника. В точке 1 деталь крепится к каркасу киля. Здесь она выполнена в виде ступицы, в которую заделаны два разнесённых подшипника. Ступица, поддерживаемая боковыми ребрами, обеспечивает устойчивое положение качалки при действии сил из плоскости детали.

Деталь технологична. Механической обработке подвергаются места под подшипники. Деталь может быть рассчитана как балка с прямоугольным поперечным сечением.

*Качалка 2* (рис. 2б) отличается от рассмотренной выше своей формой в плане. При такой форме каждое плечо качалки будет работать как двутавровая балка. В теле качалки сделано отверстие облегчения. *Качалка 3* (рис. 2в) существенно отличается от первых

двух по своему исполнению. Она выполнена из литейного алюминиевого сплава литьём в кокиль. В месте соединения с тягами качалка выполнена в виде вилки, подшипники установлены только в ступице.

Каждое плечо качалки работает как балка с малой строительной высотой. При этом одно плечо качалки выполнено в виде двутавра. Другое имеет трубчатое сечение. По сравнению с другими деталями у этой больше объём механической обработки.

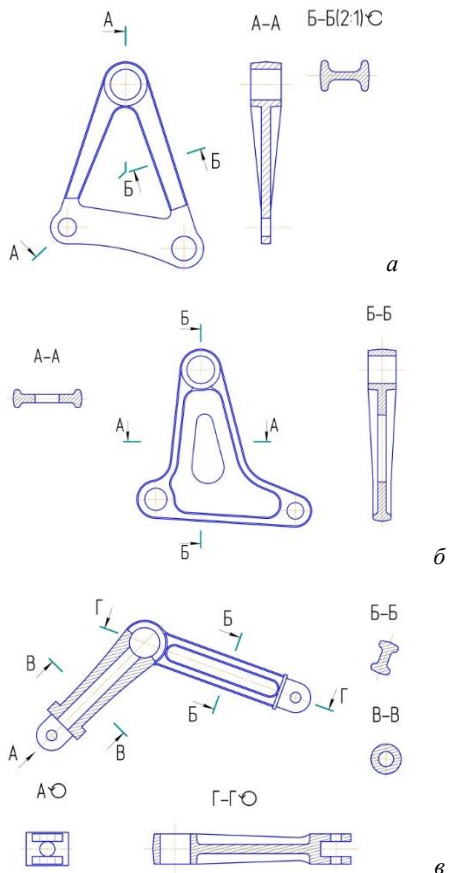


Рис. 2. Эскизы деталей-аналогов

## ЗАНЯТИЕ №2. УРАВНОВЕШИВАНИЕ ДЕТАЛИ. ПОДБОР СТАНДАРТНЫХ ИЗДЕЛИЙ. ВЫБОР КОНСТРУКТИВНО-СИЛОВОЙ СХЕМЫ. НАЗНАЧЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ДЕТАЛИ

Содержание занятия:

1. Уравновешивание детали. Подбор стандартных изделий (подшипников, болтов, заклепок, тяг и т.п.).
  2. Разработка и анализ возможных вариантов конструктивно-силовой схемы (КСС).
  3. Расчёт силового фактора с использованием высокоточных моделей:
    - 3.1. Построение геометрической модели.
    - 3.2. Создание конечно-элементной модели детали.
    - 3.3. Расчёт моделей и анализ результатов. Выбор наилучшей модели детали по значению силового фактора.
  4. Выбор расчетной схемы детали.
  5. Определение усилий в элементах детали.
- Необходимые пояснения и рекомендации:

1. Силы в местах крепления и в узлах установки ответных тяг определяются по результатам уравновешивания сил, действующих на деталь. Способ уравновешивания определяет характер силовой работы крепёжных элементов, соединяющих разрабатываемую деталь с ответными деталями.

Тип стандартной детали обычно определяется требованиями к проектируемой детали. Размеры определяются заданной нагрузкой на деталь  $P^p$ .

Примечание. В задании указана расчетная нагрузка  $P^p$ . В соответствии с нормами прочности она получена из нормированной эксплуатационной нагрузки  $P^3$

$$P^p = P^3 f ,$$

где  $f$  – коэффициент безопасности.

При действии расчетной нагрузки ( $P^p$ ) напряжения в расчетных сечениях должны равняться расчетным, и условия прочности имеют вид:

$$\sigma \leq \sigma^p ; \tau \leq \tau^p .$$

Стандартные детали определяют размеры проектируемой детали в

местах соединения. Необходимо подобрать подшипники (скольжения или качения), детали крепежа (болты, заклёпки), тяги проводки управления и т.п. Подшипники подбираются по статическим разрушающим нагрузкам [5].

Болты подбираются по разрушающим нагрузкам растяжения и среза, которые приводятся в соответствующих стандартах [6, 13]. Для каждой подобранной стандартной детали определяется коэффициент избытка прочности.

2. Разработку конструктивно-силовой схемы детали и её анализ целесообразно вести в виде эскизов.

Отобразите в масштабе известную из задания геометрическую информацию о детали. Целесообразно также обозначить отверстия под болты, подшипники и т.п., размеры которых уже известны.

Далее постарайтесь выполнить несколько вариантов эскизов детали, как она видится. В этом вам помогут ранее выполненные эскизы деталей-аналогов, совет преподавателя, собственные представления о силовой работе детали.

Дайте критический анализ каждому варианту примерно по той же схеме, по которой анализировали детали-аналоги.

Основным критериям при выборе КСС детали служат разработанные ранее технические требования (ТТ). Предпочтение следует отдавать детали, наиболее полно удовлетворяющей ТТ.

Решение вопроса о выборе рациональной КСС облегчается после сравнения вариантов по значению «силового фактора» [16].

3. Расчёт силового фактора с использованием высокоточных моделей.

3.1. Для двух выбранных вариантов силовой схемы рассчитаем значения «силового фактора». Геометрические модели деталей можно построить, используя программные продукты САПР, КОМПАС или другие САД-программы. Геометрическая модель должна полностью соответствовать техническому заданию. При построении модели необходимо учитывать не только основную геометрию (на основе которой строится конечно-элементная модель), но и вспомогательную – например, направление действия нагрузки.

3.2. Конечно-элементную модель детали рекомендуется создавать в программном комплексе MSC/Nastran for Windows. Модель должна наиболее полно соответствовать заданию и типу выбранной схемы. Большинство деталей, предлагаемых в задании к лабораторной

работе, воспринимают нагрузки в одной плоскости, следовательно, необходимо строить конечно-элементную модель из плоских элементов – мембран.

3.3. Расчёт модели и анализ результатов производится в программном комплексе MSC/Nastran for Windows. Расчёт силового фактора для каждой модели производится с помощью подпрограммы – скрипта, разработанного на кафедре. Скрипт находится на компьютерах в учебной лаборатории кафедры КиПЛА. Скрипт выводит значения силового фактора в окне сообщений. Для дальнейшего расчета выбираем силовую схему с наименьшим значением «силового фактора».

4. Расчетная схема устанавливает способ расчета конструкции и выбирается таким образом, чтобы максимально упростить прочностные расчеты при сохранении приемлемой их точности. Для этого конструкция реальной детали, выполненная пока в виде эскиза, схематически представляется совокупностью типовых элементарных конструкций (стержней, брусьев, балок, рам и т.п.), методы расчета которых вам известны.

Переход от реальной конструкции к расчетной схеме сопровождается рядом упрощений (жесткое соединение заменяется шарнирным, не учитываются некоторые элементы и т.п.). При этом важно понимать, что достоверность расчета в основном может быть достигнута при условии правильного определения расчетной схемой путей и способов передачи сил деталию.

Описание расчетной схемы выбранного варианта КСС приведите в записке.

5. На основе принятой расчетной схемы определяются усилия в элементах детали: нормальная сила в стержне, изгибающий момент и перерезывающая сила в сечении балки, крутящий момент для вала. Силовые факторы удобно представлять в виде эпюр.

**ПРИМЕР ОТЧЁТА ПО ЗАНЯТИЮ №2.**  
**УРАВНОВЕШИВАНИЕ ДЕТАЛИ. ПОДБОР СТАНДАРТНЫХ**  
**ИЗДЕЛИЙ. ВЫБОР КОНСТРУКТИВНО-СИЛОВОЙ СХЕМЫ.**  
**НАЗНАЧЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ**  
**УСИЛИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ДЕТАЛИ**

1. Подбор стандартных изделий. На основании требования о минимальных трении и люфтах в сочленениях детали с тягами и кронштейном подвески устанавливаем в местах их соединения шарикоподшипники (точки 1, 2, 3 в задании).

Для определения усилий в точках 1, 2 и 3 проведем уравнивание сил, действующих на деталь.

Для определения силы  $P_3$  составим уравнение равновесия относительно точки 1:

$$P_2^p l_{12} = P_3^p l_{13},$$

отсюда

$$P_3^p = \frac{P_2^p l_{12}}{l_{13}} = \frac{20000 \cdot 100}{120} = 16670 \text{ Н.}$$

Усилие в точке 1 определим, спроецировав силы  $P_1^p, P_2^p, P_3^p$  на оси  $x$  и  $y$ . По заданию угол между направлением действия сил  $P_2^p, P_3^p$  и осями  $x$  и  $y$  равен  $45^\circ$ .

Учитывая, что  $\sin 45 = \cos 45 \approx 0,71$ , найдем

$$P_{1x}^p = 0,71 \cdot (P_2^p - P_3^p) = 0,71 \cdot (20000 - 16670) = 2364 \text{ Н;}$$

$$P_{1y}^p = 0,71 \cdot (P_2^p + P_3^p) = 0,71 \cdot (20000 + 16670) = 26036 \text{ Н;}$$

$$P_1^p = \sqrt{(P_{1x}^p)^2 + (P_{1y}^p)^2} = \sqrt{2364^2 + 26036^2} = 26000 \text{ Н.}$$

Результаты приведены на рис. 3.

$P_1 = 26000 \text{ Н, } P_2 = 20000 \text{ Н, } P_3 = 16670 \text{ Н.}$

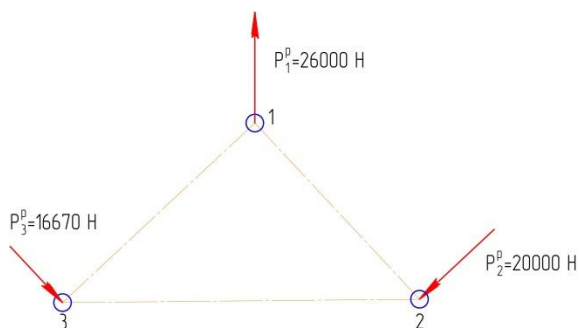


Рис. 3. Уравновешивание детали

Подшипники подбираем по статическим разрушающим нагрузкам в точках 1, 2, 3 [5]. Наружный диаметр выбранного подшипника определяет внутренний диаметр и толщину проушины детали.

В точке 1 для обеспечения работоспособности проводки управления при действии непредвиденных нагрузок из плоскости детали устанавливаем два разнесенных подшипника.

Размеры выбранных подшипников сведем в табл. 1.

Таблица 1. Размеры подшипников

Номер точки	Тип подшипника	Статическая разрушающая нагрузка, Н	Расчетная нагрузка, Н	$\eta$	$d$ , мм	$D$ , мм	$b$ , мм
1	18	13000	13000	1,0	8	22	7
2	1007	20000	20000	1,0	7	22	7
3	1006	17000	16670	1,02	6	19	6

2. Эскизы вариантов конструктивно-силовых схем приведены на рис. 4.

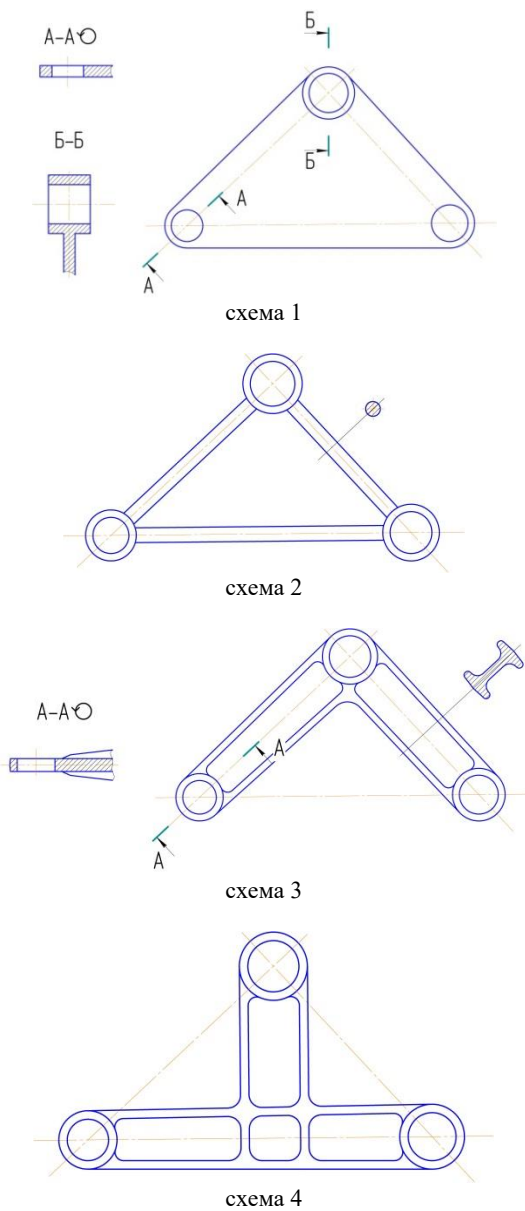


Рис. 4. Конструктивно-силовые схемы детали



### Схема 1

Качалка вырезана из листа толщиной не менее 14 мм (предполагаемая ширина ступицы под два подшипника в точке 1). По всей поверхности проведено фрезерование по толщине подшипников в точках 2 и 3.

Деталь технологична, хотя для изготовления не требуется сложного, дорогостоящего оборудования. Способ изготовления выгоден для единичного производства. Расчетная схема детали – балка, имеющая прямоугольное поперечное сечение. Для детали может быть использован любой материал, допускающий механическую обработку.

### Схема 2

Качалка выполнена в виде трех колец-проушин, соединенных между собой стержнями. Вся деталь может быть выполнена монолитной либо сварена из отдельных колец и стержней. Применение сварки наложит ограничения на материал детали.

Деталь менее технологична. Может быть изготовлена штамповкой или литьем. Места стыка проушины со стержнем (зоны концентраций напряжений) требуют тщательной чистовой механической обработки.

Расчетная схема детали – трёхстержневая ферма, работающая на растяжение–сжатие. Отметим, что у реальной детали не шарнирное соединение стержней, а жесткое. С помощью ферменной расчетной модели правильно оценить напряженное состояние такой детали можно только при достаточно длинных стержнях, для которых влиянием способа заделки можно пренебречь.

### Схема 3, схема 4

Оба варианта предусматривают выполнение качалки методом горячей штамповки из деформируемого алюминиевого сплава. Варианты отличаются формой в плане и, соответственно, путями передачи сил внутри детали.

Детали технологичны. Их форма проста, и после штамповки требуется небольшой объем механической обработки. Расчетная схема обеих деталей балочная с постоянной высотой балки. Усилия в ее элементах легко определяются по формулам теории балки.

Сравнительная оценка предложенных вариантов КСС детали показывает:

- в схеме 1 явно «лишний» материал заложен в центре детали, это не позволяет удовлетворить требованию минимальной массы.

Деталь не технологична, низкий коэффициент использования материала. Способ изготовления не удовлетворяет требованию серийности производства;

– схема 2 не технологична. Кроме того, подбор сечений сжатых стержней с учетом потери устойчивости, по-видимому, потребует изменения формы сечения. Кроме того, трудно обеспечить высокий ресурс детали в местах крепления стержней к проушинам. Это также не соответствует ТТ;

– схема 3 обеспечивает наиболее длинный путь передачи сил между тягами. Силы передаётся изгибом плеч качалки, имеющих малую строительную высоту. Изгиб, как известно, наиболее материалоемкий способ передачи сил. Качалка, выполненная по схеме 3, будет наименее жесткой из всех рассматриваемых. Используя схему 3, трудно обеспечить технические требования, касающиеся минимальной массы и достаточной жесткости детали;

– схеме 4 также балочная, но в этой схеме по сравнению со схемой 3 путь передачи сил между тягами минимален. Основным недостатком этой схемы – малая строительная высота плеч качалки.

4.1. Для дальнейшего анализа рассмотрим качалки, представленные на схемах 1 и 3. Построим геометрические модели качалок, достаточные для создания конечно-элементных моделей.

Для построения моделей воспользуемся программным комплексом САПР V5. Геометрические модели схем 1 и 3 представлены на рис. 5 и 6.

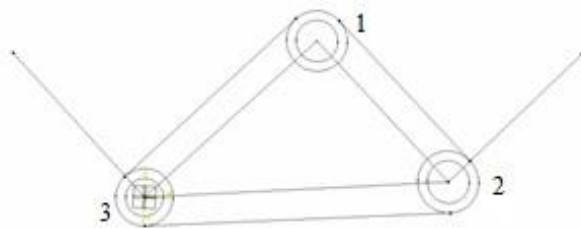


Рис. 5. Геометрическая модель качалки по схеме 1

Модели качалок содержат основную геометрию: внешний контур качалки, окружности, предусматривающие установку подшипников,

и вспомогательную геометрию – боковые отрезки, необходимые для моделирования тяг и задания вектора приложения нагрузки.

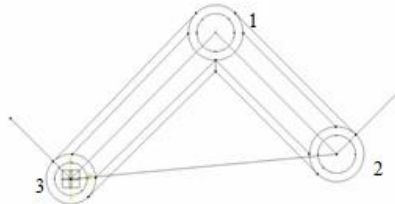


Рис. 6. Геометрическая модель качалки по схеме 3

После построения геометрии качалки импортируем модели через формат STEP в программу MSC/Nastran for Windows.

4.2. После импорта геометрической модели создаём конечно-элементную модель (КЭМ).

Перед созданием КЭМ зададим свойства элементов, которые будем использовать:

1 Поверхность качалки и проушин крепления тяг – тип элемента Membrane, толщина 7 мм (ширина подшипника).

2 Поверхность проушины крепления качалки – тип элемента Membrane, толщина 14 мм (под установку двух подшипников).

3 Тяги и подшипники – тип элемента Rod, площадь 10000 мм<sup>2</sup>.

Толщина элементов Membrane выбрана с учётом установки подшипников шириной 7 и 14 мм. Площадь элементов Rod выбрана достаточно большой, чтобы обеспечить жёсткость этих элементов. Подшипники моделируются стержнями, соединяющими узлы на краях проушин и узлы в центрах окружностей, где будет прикладываться нагрузка и закрепляться модель.

Свойства материала для элементов выбраны следующие:

- модуль Юнга  $E = 70000$  МПа;
- плотность  $\rho = 2700$  кг/м<sup>3</sup>;
- расчетное напряжение  $\sigma^p = 300$  МПа.

Нагрузка  $P^p = 20000$  Н, приложена в узле проушины 2. Модель закрепляем в двух узлах КЭМ: первый узел в проушине 1; а второй – на конце смоделированной тяги, присоединённой к проушине 3. Так как модель плоская, то в узлах крепления накладываем ограничения перемещения по осям X и Y.

Конечно-элементные модели качалок представлены на рис. 7 и 8.

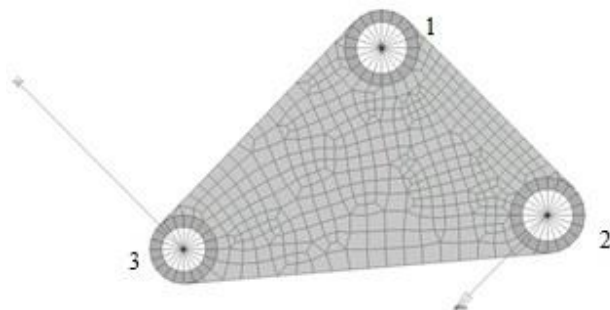


Рис.7. КЭМ качалки схемы 1

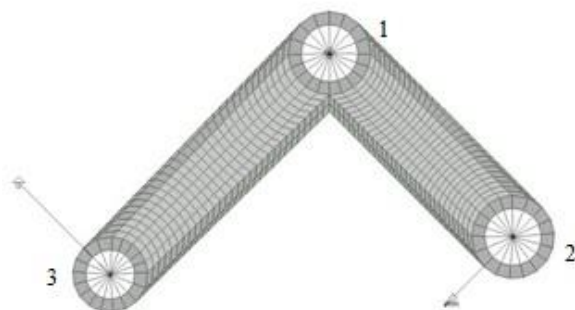


Рис. 8. КЭМ качалки схемы 3

#### 4.3. Расчёт моделей и анализ результатов.

После построения КЭМ, задания нагрузок и ограничений производим расчёт.

Результаты расчёта представлены на рисунках ниже. Эквивалентные напряжения по верхней стороне пластины – рис. 9 и 10. Потоки главных усилий – рис. 11 и 12.

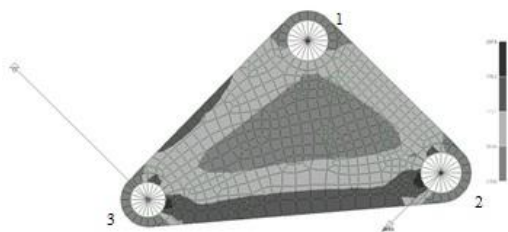


Рис. 9. Эквивалентные напряжения модели качалки схемы 1

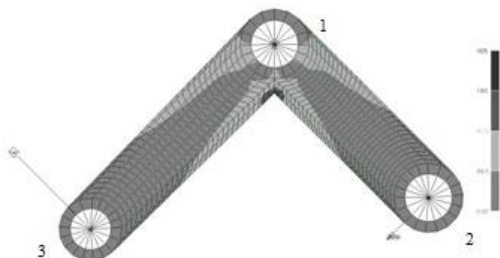


Рис. 10. Эквивалентные напряжения модели качалки схемы 3

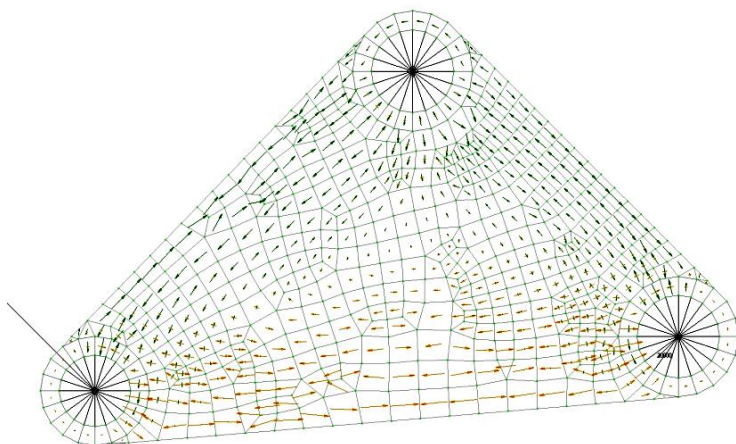


Рис.11. Потоки главных усилий в модели качалки схемы 1

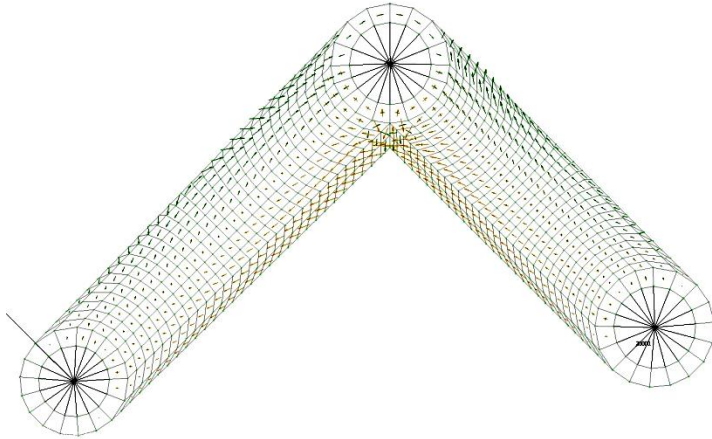


Рис.12. Поток главных усилий в модели качалки схемы 3

Подсчитаем силовой фактор моделей, используя подпрограмму-скрипт. Результаты расчёта представлены в таблице 2.

Таблица 2. Полученные параметры моделей

Параметр / значение	Схема 1	Схема 3
Объём модели, $V$ , мм <sup>3</sup>	6,3094E+07	6,2274E+06
Масса модели, $m$ , гр	4,6257E+04	4,5656E+03
Силовой фактор, $G$	9,1307E+06	23,940E+06

По результатам расчёта можно сделать вывод, что лучшей схемой качалки является схема 1, так как значение силового фактора первой схемы меньше значения силового фактора третьей схемы.

4. Выбор расчетной схемы детали. Рассмотрение вариантов привело к появлению схемы 5, свободной от большинства перечисленных недостатков (рис. 13).

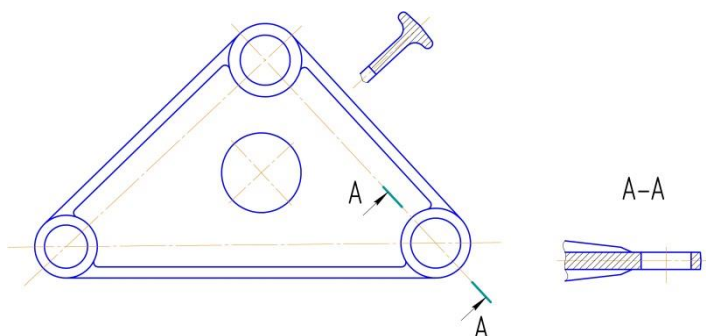


Рис. 13. Конструктивно-силовая схема детали

По передаче усилий внутри детали схема близка к ферменной. В то же время стенка исключает вероятность потери устойчивости стержнями. Отверстие в середине детали убирает «неработающий» материал. Силы между тягами замыкаются наиболее коротким путём. Легко обеспечить достаточную жесткость детали.

Деталь может быть изготовлена горячей штамповкой.

Для выбранного варианта силовой схемы примем: расчетную схему в виде балки со сходящимися поясами (рис. 14).

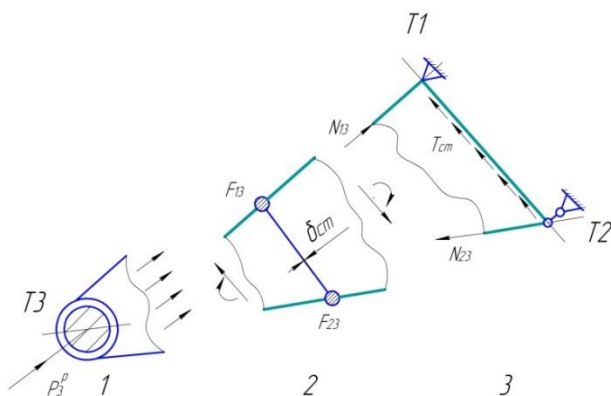


Рис. 14. Расчетная схема кронштейна: 1 – плоская проушина, нагруженная через жесткую вставку; 2 – идеальный двутавр с переменной по длине высотой  $H$ ; 3 – стойка

5. Определение усилий в элементах детали. Используя принятую

расчётную схему, определим усилия в поясах и стенке качалки по формулам, приведённым в [16]. Исходные данные к расчёту показаны на рис. 15.

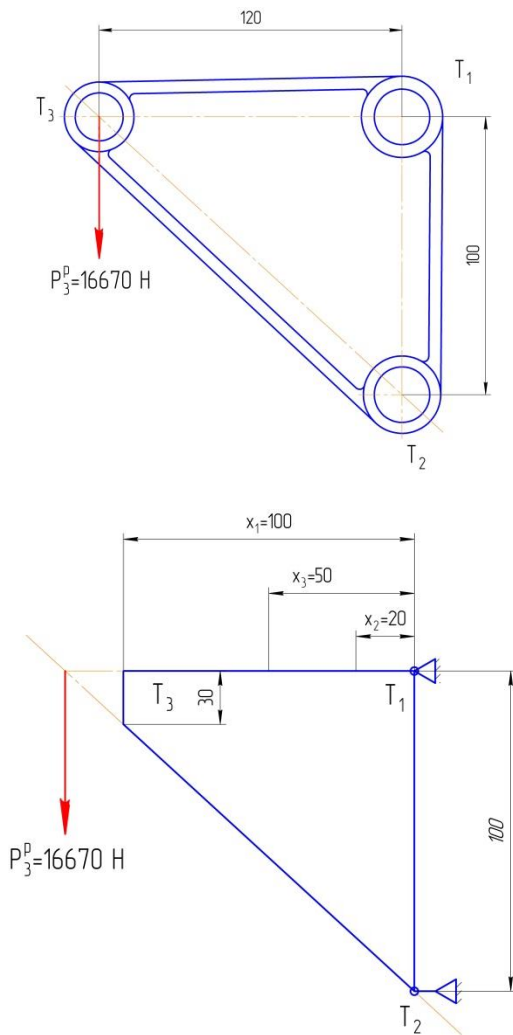


Рис. 15. Исходные данные к расчету усилий в элементах детали

Определим усилия в поясах  $N_{13}$ ,  $N_{23}$ ,  $N_{12}$  и  $T$  в стенке качалки.



Введём обозначения:

$N_{133}$ , Н – усилие в стержне 1-3 у точки 3;

$N_{131}$ , Н – усилие в стержне 1-3 у точки 1;

$N_{233}$ ,  $N_{232}$ ,  $N_{212}$ ,  $N_{211}$  – аналогично;

$T_3$ , Н/мм – поток в стенке у точки 3;

$T_0$ , Н/мм – поток в среднем сечении;

$x$ , мм – расстояние до расчётного сечения;

$\alpha$ ,  $\beta$  – углы наклона поясов ( $\alpha = 0^\circ$ ;  $\beta = 37^\circ$ ).

$$N_{13}^3 = \frac{P^p(l_{13} - x_1)}{\cos \alpha [l_{12} - x_1 (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta)]} = \frac{16670 \cdot (120 - 100)}{1 \cdot [100 - 100 \cdot (0 + 0,841)]} = 20968 \text{ Н};$$

$$N_{13}^1 = \frac{16670 \cdot (120 - 100)}{1 \cdot [100 - 20 \cdot (0 + 0,841)]} = 20041 \text{ Н}.$$

Аналогично получим:

$$N_{23}^3 = 27418 \text{ Н};$$

$$N_{23}^2 = 26198 \text{ Н}.$$

$$N_{12}^1 = P^p \left( 1 - \frac{1}{l_{12}} \operatorname{tg} \alpha \right) = 16670 \cdot \left( 1 - \frac{1}{100} \cdot 0 \right) = 16670 \text{ Н};$$

$$N_{12}^2 = \frac{P^p l_{13}}{l_{12}} \operatorname{tg} \beta = \frac{16670 \cdot 120}{100} \cdot 0,841 = 16823 \text{ Н};$$

$$T^3 = \frac{P^p}{l_{12} - x (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta)} = \frac{16670}{100 - 100 \cdot (0 + 0,841)} = 1048 \text{ Н/мм};$$

$$\begin{aligned} T^0 &= \frac{P^p}{l_{12}^2} [l_{12} - x_3 (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta)] = \\ &= \frac{16670}{100^2} \cdot [100 - 50 \cdot (0 + 0,841)] = 96,6 \text{ Н/мм}. \end{aligned}$$

### **ЗАНЯТИЕ №3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНЫХ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛИ С УЧЁТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ОГРАНИЧЕНИЙ**

Содержание занятия:

1. Выбор материала детали.
2. Расчёт проушин.
3. Расчёт потребных по прочности сечений тела детали.
4. Модификация сечений с учётом технологических факторов и ограничений.

Необходимые пояснения и рекомендации:

1. Выбор материала делается таким образом, чтобы при заданных расчетных условиях и предполагаемой технологии изготовления обеспечивался минимум массы детали. Критерием для такого выбора в первом приближении могут быть характеристики удельной прочности [3].

Значение удельной прочности для выбранного материала подсчитывается на основании принятого для него расчетного напряжения. Это напряжение назначается с учетом влияния на работоспособность материала длительности эксплуатации интенсивности и характера нагрузок, рабочих температур, технологических процессов, воздействия внешней среды, чувствительности материала к концентрации напряжений и т.п.

Значение выбранного расчетного напряжения согласовывается с преподавателем. Укажите в записке режим термообработки, при котором достигаются заданные механические характеристики выбранного материала. Впоследствии эта информация отражается на поле чертежа в технических требованиях.

В нашем случае задача выбора материала упрощается, так как, выбрав вариант технологии изготовления детали, мы существенно сократили круг применяемых материалов. Рекомендации по предпочтительным для того или иного варианта технологии маркам материалов приведены в [7].

Дополнительная информация о прочностных и технологических свойствах материалов приведена в [8].

2. Расчет проушин проведите в соответствии с рекомендациями, изложенными в [9].

3. По усилиям в элементах детали подберите размеры сечения

детали (площади поперечных сечений ребер, толщину стенки, толщину подошвы и т.д.) для каждого опасного сечения; для промежуточных сечений, когда требуется уточнить закон изменения сечения по длине детали; для всех мест и форм возможных разрушений детали. Рекомендации и необходимые расчетные формулы вы найдете в [2, 9].

4. Модификация сечений детали с учетом технологических факторов и ограничений производится в соответствии с требованиями и рекомендациями по технологичности [7] для прорабатываемого варианта изготовления детали. Выполнение этих требований призвано обеспечить приемлемое качество изделия, производительность и износ технологического оборудования.

При сохранении расчетных площадей сечений подберите для детали, изготавливаемой:

- горячей штамповкой: рациональную форму детали и ее конструктивных элементов; ориентацию плоскости разреза штампа; толщину и угол наклона полотна; площадь отверстий облегчения, пробиваемых при штамповке; толщину и высоту ребер, расстояние между ребрами; радиусы сопряжений, закруглений и переходов; штамповочные уклоны; предельные отклонения (допуски) на необрабатываемые размеры;

- литьём: способ литья, рациональную форму детали и ее элементов, обеспечивающую равномерность остывания отливки; поверхность разреза формы; литерные уклоны; минимальные толщины стенок; толщины ребер и расстояние между ними; радиусы сопряжений и закруглений; предельные отклонения размеров.

Заметим, что выбор размеров элементов детали должен производиться с учетом последующей механической обработки сопрягаемых поверхностей и иногда облегчения или пригонки по массе. Выбрав размеры детали, по рекомендациям [12] назначьте антикоррозийное покрытие детали.

## ПРИМЕР ОТЧЁТА ПО ЗАНЯТИЮ №3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНЫХ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛИ С УЧЁТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ОГРАНИЧЕНИЙ

1. Выбор материала. Выбор материала проведем, руководствуясь характеристиками удельной прочности материала.

В соответствии с принятой расчётной схемой деталь работает в условиях изгиба. По [3] критерий удельной прочности для изгиба

$$\frac{\sigma^p}{\rho}$$

Учитывая, что деталь предполагается изготавливать горячей штамповкой, по рекомендациям [7, 17, 18] выпишем круг возможных материалов и подсчитаем для них значение удельной прочности.

Таблица 3. Выбор возможных материалов

Материал	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma^p$ , МПа	$\rho$	$\frac{\sigma^p}{\rho}$
ЗОХГСА	1100	900	7,85	5,6
АК - 6	370	340	2,8	8,2
ОГ - 4	900	800	4,55	8,8
МАИ4Т1	270	250	1,8	10,2

Здесь  $\sigma^p$  – расчетное напряжение, назначено с учетом условий работы детали и характеристик материала [17, 18].

Из анализа таблицы ясно, что с точки зрения минимума массы детали наиболее подходящим является магниевый сплав. Его недостаток – слабая коррозионная стойкость. По условиям работы качалка находится в труднодоступном негерметичном отсеке. Контролировать целостность антикоррозионного покрытия детали трудно.

Два конкурирующих сплава, титановый и алюминиевый, имеют практически одинаковые значения удельной прочности. Исходя из того, что алюминиевый сплав дешевле, легче обрабатывается, выбираем для детали материал АК-6.

Термообработка: закалка и искусственное старение при температуре 160° в течение 12 часов,  $\sigma^p = 340$  МПа.

2. Расчет проушин. Расчет проушин ведем в соответствии с рекомендациями, изложенными в [9].

Расчётные условия:

Материал АК-6,  $\sigma^p = 340$  МПа.

Разрушающие усилия на проушину:

$$P_1^p = 26000 \text{ Н};$$

$$P_2^p = 20000 \text{ Н};$$

$$P_3^p = 16670 \text{ Н}.$$

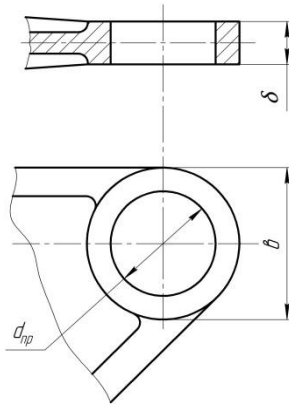


Рис. 16. Схема проушины в точках 2 и 3

Размеры подшипников в проушинах, мм:

$$D_1 = 22, \quad b_1 = 7;$$

$$D_2 = 22, \quad b_2 = 7;$$

$$D_3 = 19, \quad b_3 = 6.$$

Расчет проушины в точке 2 (рис. 16):

1. Толщина проушины, мм:

$$\delta = b_2 + 2a = 7 + 2 \cdot 0,2 = 1,4;$$

где  $a$  – припуск на заделку подшипника по ОСТ 1.0384I-76,  $a = 0,2$  мм.

В соответствии с ГОСТ 8032-84 принимаем  $\delta = 7,5$ .

2. Определяем ширину проушины, мм:

$$b = \frac{P^p}{\delta[\sigma]^p} + d_{np} = \frac{20000}{7,5 \cdot 340} + 22 = 29,8 \text{ мм},$$

здесь  $d_{np} = D_2$ .

Принимаем  $b = 30$  мм.

Определяем минимальную ширину проушины, мм, из условия запрессовки подшипника:

$$b_{\min} = d_{np} + 2x_{\min} = 22 + 2 \cdot 4 = 30,$$

$x_{\min} = 4$  мм (по ОСТ 1. 03841 - 76).

Принимаем ширину проушины  $b = 30$  мм.

Вычислим напряжение, МПа, в проушине.

$$\sigma_p = \frac{P^p}{(b - d_{np})\delta} = \frac{20000}{(30 - 22) \cdot 7,5} = 333,3.$$

$$\eta = \frac{[\sigma]^p}{\sigma_p} = \frac{340}{333} = 1,02.$$

Аналогичными вычислениями определим размеры проушины в точке 3.

$\Delta = 6,5$  мм;  $b = 27$  мм; при этом  $\eta = 1,06$ .

Расчёт ступицы (точка 1, рис. 17):

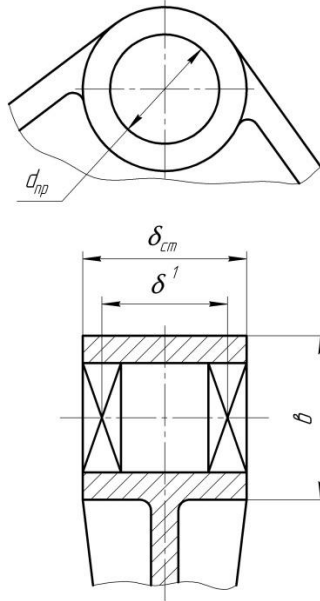


Рис. 17. Схема ступицы, точка 1

1. Толщина проушины. В ступице установим два подшипника на расстоянии:

$\delta_1 = 18$  мм, тогда  $\delta_{ст} = 25$  мм (с учётом заделки подшипников).

2. Ширина проушины, мм:

$$b = \frac{P^p}{\delta[\sigma]^p} + d_{np} = \frac{26000}{25 \cdot 340} + 22 = 25,06 \text{ мм.}$$

Из условия запрессовки подшипника:

$b_{min} = 30$  мм, при  $d_{np} = 22$  мм. Принимаем  $b = 30$  мм.

Напряжение в ступице, МПа:

$$\sigma_p = \frac{P^p}{(b - d_{np})\delta} = \frac{26000}{(30 - 22) \cdot 25} = 130,2.$$

$$\eta = \frac{[\sigma]^p}{\sigma_p} = \frac{340}{130,2} = 2,61.$$

Размеры проушин нанесём на детали (рис. 18).

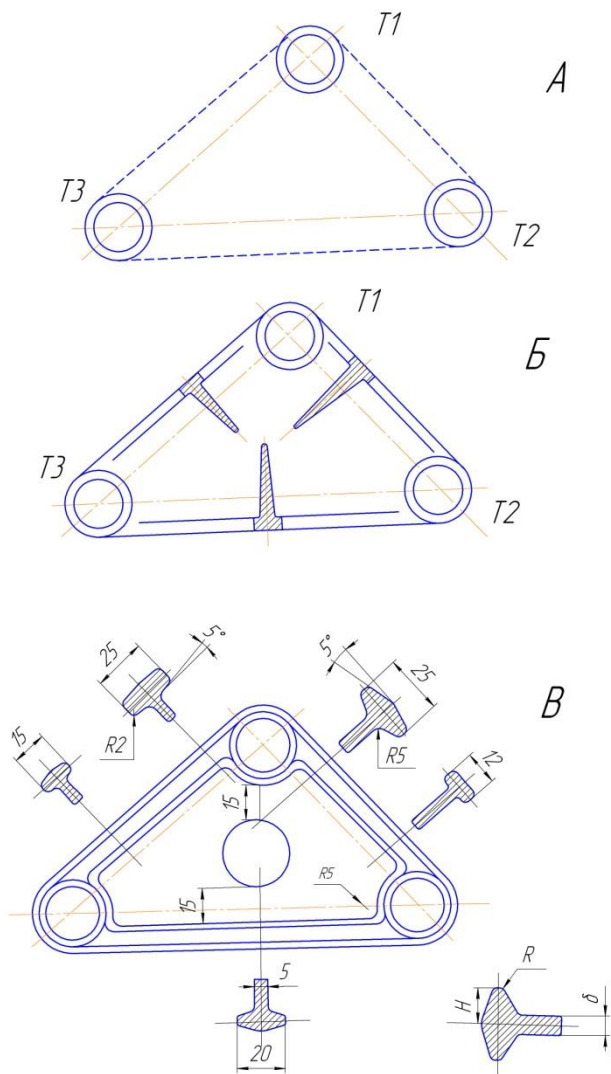


Рис.18. Формирование конфигурации детали

3. Расчёт потребных по прочности сечений тела детали.  
Исходные данные:



Материал АК–6,  $\sigma^p = 340$  МПа.

Усилия в поясах:

$N_{13} = 20968$  Н,  $N_{12} = 16823$  Н,  $N_{23} = 27418$  Н.

Поток касательных усилий у проушин  $T = 1048$  Н/мм,

В среднем сечении детали  $T_0 = 6,6$  Н/мм.

Площади поперечных сечений поясов, мм<sup>2</sup>:

$$F_{13} = \frac{N_{13}}{[\sigma]^p} = \frac{20968}{340} = 61,7;$$

$$F_{12} = 49,5;$$

$$F_{23} = 80,6.$$

Толщина стенки у проушин, мм:

$$\delta = \frac{T^3}{[\tau]^p} = \frac{1048}{221} = 4,7$$

при  $\tau^p = 0,65[\sigma]^p = 221$  МПа.

Толщина стенки в центре  $\delta_0 = 0,44$  мм.

Нанесем информацию о размерах поясов и стенки на чертеж детали (рис. 18).

4. Модификация сечений с учётом технологических факторов и ограничений. Конфигурацию детали, учитывающую особенности горячей штамповки, определим по рекомендации [7].

4.1. Выбор линии разъёма штампа.

Деталь симметрична относительно срединной плоскости. Линия разъёма – прямая и образуется пересечением срединной плоскости с внешним контуром детали (рис. 19).

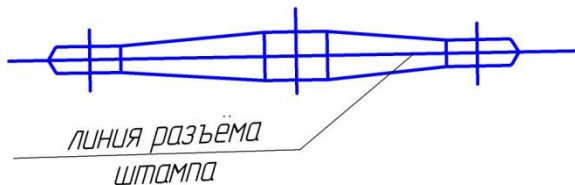


Рис.19. Линия разъёма штампа

#### 4.2. Выбор штамповочных уклонов.

##### Пояс 1–3

Высота пояса переменная.

Высоту в точке 3 подберем исходя из потребной по прочности площади пояса:

$$F = 62 \text{ мм}^2.$$

Задаемся  $H = 7,5$  мм;  $2R = 4$  мм, где  $H$  – высота ребра,  $R$  – радиус при вершине ребра.

По табл. 7.2 [7] наружный и внутренний уклоны 50. В точке 1 высота ребра  $H = 12,5$  мм (по табл. 7.2), уклон также 50.

##### Пояс 1–2

Высота пояса переменная.

В точке 2  $F = 50$  мм. Задаемся  $H = 6$  мм. По табл. 7.2 наружный и внутренний уклоны 50. В точке 3 высота ребра, исходя из толщины ступицы, равна 12,5 мм, при этом уклоны также 50.

##### Пояс 2–3

Высота пояса постоянная.

Площадь пояса  $F = 81$  мм. При высоте ребра  $H = 10$  мм и постоянной толщине можно сохранить наружный и внутренний уклоны 50.

#### 4.3. Расчет толщины полотна (стенки детали).

Минимально допустимая толщина полотна определяется по таблице 7.7 [7] в зависимости от площади проекции детали.

При  $F_{\text{дет}} = 60$  см минимальная толщина  $S = 2$  мм.

Требуемая по прочности толщина полотна 4,7 мм, которая быстро убывает по направлению к центру детали до 0,5 мм.

Принимаем толщину полотна постоянной по всей детали и равной 5 мм.

В центре детали вырежем отверстие облегчения таким образом, чтобы минимальное расстояние от ребра до края отверстия было не менее 15 мм (суммарная высота стенки в любом сечении не менее 30 мм).

4.4. Радиусы сопряжений и переходов определяем по табл. 7.15 [7] (рис. 18).

Радиус сопряжения ребра с полотном  $R = 5$  мм.

Радиус переходов (на стыке ребра с проушиной)  $R = 5$  мм.

4.5. Предельные отклонения размеров между необрабатываемыми поверхностями назначим по 4-му классу точности.

На вертикальные размеры  $+0,5-0,3$  мм (табл. 7.20) [7].

На горизонтальные размеры  $+0,6-0,3$  мм (табл. 7.22).

Допуск на радиусы закруглений  $+2,0-1,0$  мм (табл. 7.24).

Модифицируем сечения детали, полученные по условию прочности (рис. 18б) с учетом технологических факторов и ограничений (рис. 18в).

С учетом условий работы детали и выбранного материала назначим антикоррозийное покрытие [12]: анодирование в серной кислоте с наполнением оксидной пленки хромпиком; не позже чем через 24 часа покрытие грунтом АЛГ- 1 с горячей сушкой.

## ЗАНЯТИЕ №4. ВЫПОЛНЕНИЕ ЧЕРТЕЖА ДЕТАЛИ

Содержание занятия:

1. Оформление рабочего чертежа детали.
2. Техническое описание спроектированной детали.

Необходимые пояснения и рекомендации:

1. Рабочий чертеж детали оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109 - 70. Рабочий чертеж должен содержать всю информацию, необходимую для изготовления и контроля детали, а также для разработки чертежей технологической оснастки.

Чертеж выполняется на листе бумаги стандартного формата (можно порекомендовать формат А3).

Как правило, достаточно привести два основных вида и два-три разреза или сечения, поясняющих форму детали.

Искусство состоит в том, чтобы возможно меньшим количеством линий дать читателю чертежа полное представление о детали.

Далее на чертеже представляются все необходимые размеры в их предельные отклонения. Указание размеров следует производить от баз, принятых для механической обработки, которые, как правило, являются конструкторскими базами.

В местах, подлежащих механической обработке, должна быть указана требуемая шероховатость поверхности. Чистота обработки и её точность должны быть увязаны между собой.

В технических требованиях чертежа должны быть указаны термообработка, система покрытий, требования к контролю, способ пригонки по весу, способ маркировки [10].

В основной надписи к чертежу необходимо обозначить материал в состоянии поставки и массу детали. Обозначение чертежа проводится в соответствии со стандартом 57А0. Пояснения найдете в [11].

2. В завершение работы дается краткое техническое описание детали, в котором отражаются:

- назначение детали и условия работы;
- способ изготовления и материал;
- особенности эксплуатации.

В конце пояснительной записки дается оглавление и список использованной литературы.

## **ПРИМЕР ОТЧЁТА ПО ЗАНЯТИЮ №4. ВЫПОЛНЕНИЕ ЧЕРТЕЖА ДЕТАЛИ**

1. Оформление чертежа детали. Чертеж детали приведен на рис. 20.

2. Техническое описание разработанной детали. Качалка управления предназначена для передачи управляющего усилия и поддержки тяг проводки управления самолетом. Установлена в негерметичном отсеке фюзеляжа самолета.

Изготовлена горячей штамповкой из деформируемого алюминиевого сплава АК-4 с последующей механической обработкой проушин и мест под посадку шарикоподшипников.

Антикоррозийное покрытие детали не требует контроля за её работой весь срок эксплуатации. В случае механического повреждения покрытия необходимо нанести на место повреждения лакокрасочное покрытие.

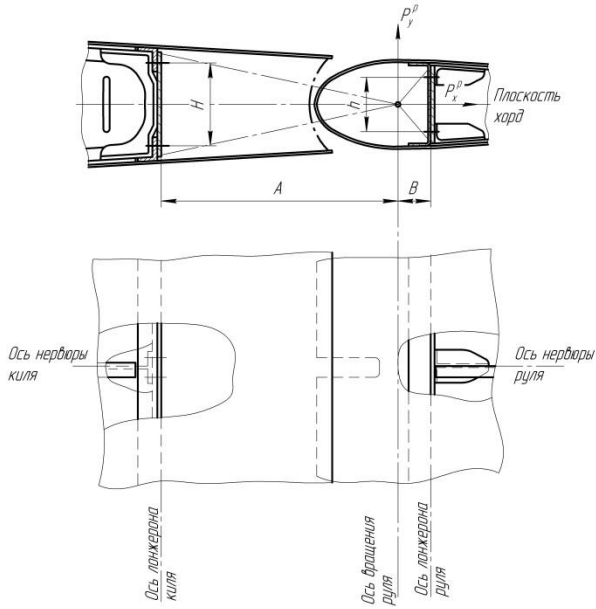


## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Житомирский Г.И.* Конструкция самолетов : учеб. для вузов по специальности «Самолето- и вертолетостроение» направления подгот. «Авиостроение». 3-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 2005. 405 с.
2. Проектирование конструкций самолетов : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Самолетостроение» / *Е. С. Войт, А. И. Ендогур, З. А. Мелик-Саркисян, И. М. Алявдин.* М.: Машиностроение, 1987. 416 с.
3. *Ендогур А.И.* Проектирование авиационных конструкций : проектирование конструкций деталей и узлов : учеб. пособие для вузов РФ по направлению подгот. дипломир. специалиста 160200 «Авиостроение» и специальности 160201 «Самолето- и вертолетостроение». М. : МАИ-ПРИНТ, 2009. 537 с.
4. *Вильчек М.И.* Проектирование узлов силовых конструкций летательных аппаратов. Куйбышев: КуАИ, 1985. 64 с.
5. *Зайцев А.М., Коросташевский Р.В.* Авиационные подшипники качения / под ред. Р.В. Коросташевского. М.: Оборонгиз, 1963. 340 с.
6. Крепёжные нормалы : сб. стандартов. М.: Минавиапром СССР, 1970.
7. Рекомендации по технологичности самолетных конструкций / под общим руководством и ред. докт. техн. наук, проф. В.В. Бойцова. 2-е изд. М.: Оборонгиз, 1963.
8. Авиационные материалы. Т.1-5-М.: ОНТИ ВИАМ, 1986.
9. *Майнсков В.Н.* Основы конструирования в самолетостроении : метод. указания к лаб.-практ. работам. Самара : [б. и.], 1992. 56 с.
10. *Майнсков В.Н.* Технические требования на чертежах : метод. указания. Куйбышев: КуАИ, 1982. 30 с.
11. *Резниченко Г.А.* Система обозначения чертежей в самолетостроении : метод. указания. Куйбышев: КуАИ, 1981.
12. Производственная инструкция ПИ-3620. Защитные покрытия изделий. 4-е изд М.: Минавиапром СССР, 1979.
13. Детали крепежные: сб. стандартов. М.: Минавиапром СССР, 1987.
14. *ГОСТ 13682-80.* Минимальные размеры мест под гаечные ключи. Введён с 01.07.81. М. : Изд-во стандартов, 1994. 8 с.
15. *ГОСТ 2.316-68.* Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц. Введён с 01.01.71.

# ПРИЛОЖЕНИЕ. ЗАДАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

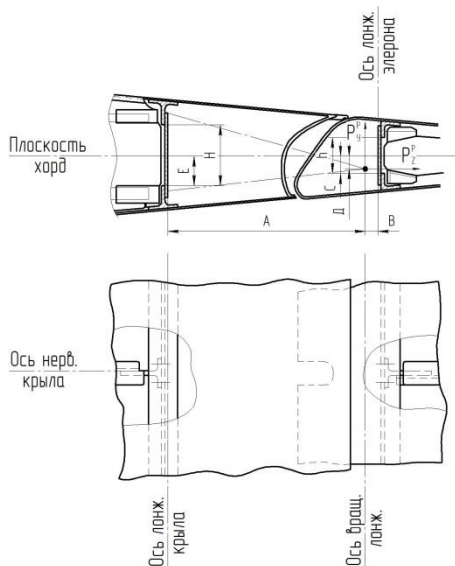
## Задание 1ст, 1р Кронштейн навески руля мм, дН



$N_B$	$A$	$B$	$H$	$h$	$P_y^P$	$P_x^P$
1	150	80	170	100	2000	1100
2	160	90	130	90	4000	1800
3	170	70	100	80	3500	1600
4	180	100	200	160	2500	1400
5	190	70	120	100	4000	2100
6	200	80	150	120	3500	1900
7	210	90	110	70	2000	1200
8	230	70	140	120	2500	1500
9	250	80	190	130	2500	1800
10	270	90	120	110	3000	2000
11	390	100	220	130	2000	800
12	300	70	160	110	3000	1700
13	320	80	220	150	3000	200
14	340	90	140	100	3500	1600
15	360	100	250	180	2500	1000

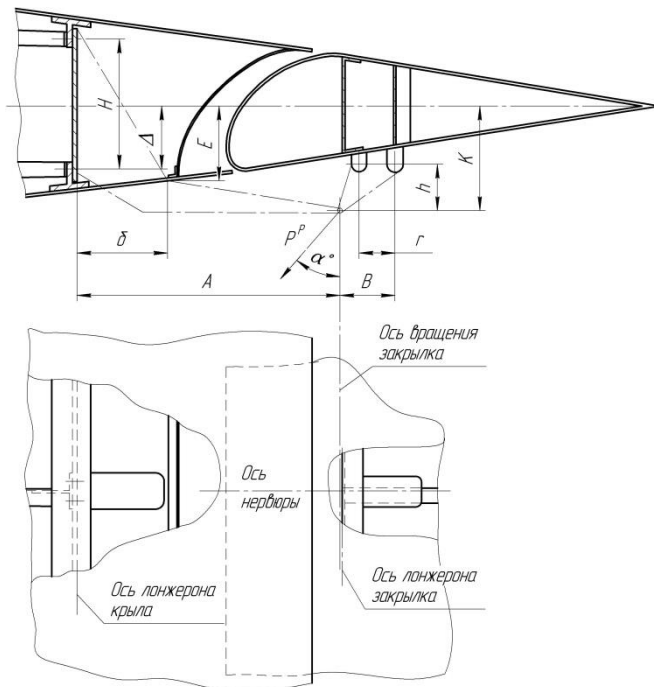


Задание Пк, Пэ  
Кронштейн навески элерона мм, дН



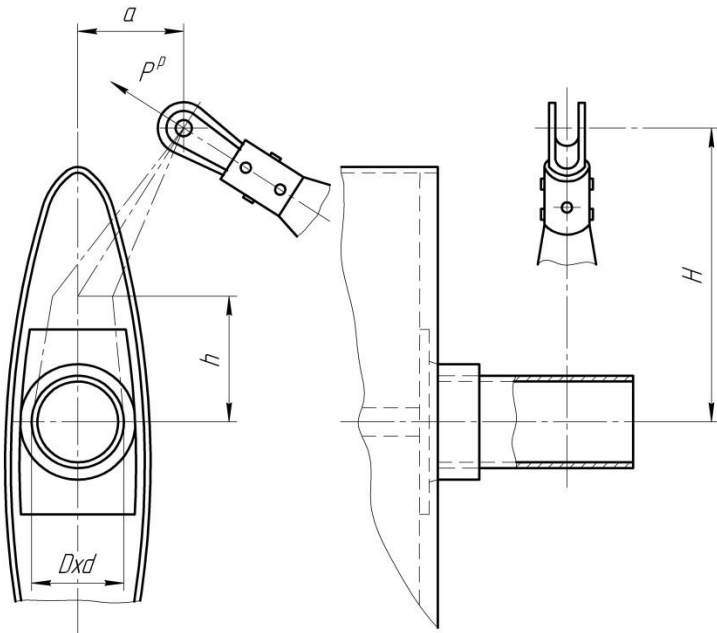
$N_B$	$A$	$B$	$C$	$D$	$E$	$H$	$h$	$P_x^p$	$P_y^p$
1	280	100	40	30	50	110	100	1000	1200
2	290	110	60	50	80	210	190	1200	2000
3	300	120	50	40	70	180	160	1300	1500
4	310	100	30	20	40	120	100	1100	1800
5	320	80	50	40	60	150	135	1500	2500
6	330	90	35	30	45	130	110	1800	3000
7	340	100	50	40	60	140	120	1700	2500
8	350	70	60	50	70	200	180	1600	2800
9	360	115	50	40	60	160	140	1500	3000
10	370	75	65	50	75	220	200	2000	4000
11	380	85	60	50	70	170	160	1800	3500
12	390	95	55	40	70	210	190	1600	3000
13	400	125	40	30	50	130	110	1100	2500

Задание Шк, Шэ  
Кронштейн навески закрылка, мм, дН



$N_B$	$A$	$\delta$	$H$	$\Delta$	$E$	$P^P$	$\alpha^\circ$	$B$	$\Gamma$	$K$	$h$
1	250	100	150	50	70	3000	45	100	60	140	80
2	270	110	160	50	70	3500	60	105	60	145	85
3	290	115	170	60	80	2800	50	110	70	150	90
4	300	120	180	60	80	4000	40	115	70	155	95
5	310	130	190	70	90	4300	70	120	80	160	80
6	330	140	200	70	90	5000	50	125	80	165	85
7	350	150	210	80	100	3200	45	120	90	170	100
8	370	160	220	80	100	3000	60	115	90	180	95
9	390	170	230	90	110	4000	40	125	100	190	90
10	400	180	240	90	110	3500	60	130	100	200	110

Задание IV  
 Качалка управления рулем, мм, дН



$N_B$	$a$	$H$	$h$	$D \times d$	$P^P$
1	30	180	60	50x48	700
2	40	190	80	55x52	1200
3	80	200	100	60x57	1200
4	50	210	80	65x62	1800
5	0	220	120	70x66	1800
6	100	230	100	75x71	1800
7	70	240	80	85x81	1600
8	0	260	120	90x85	1400
9	50	280	110	95x90	1200
10	100	300	120	100x94	1000

*Учебное издание*

## **КОНСТРУИРОВАНИЕ САМОЛЕТОВ**

*Методические указания*

Составитель *Резниченко Геннадий Алексеевич*

Редактор *Ю.Н. Литвинова*  
Компьютерная вёрстка *Ю.Н. Литвиновой*

Подписано в печать 18.12.2017. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печ. л. 2,75.

Тираж 25 экз. Заказ . Арт. 61/2017.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»  
(Самарский университет)  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

Изд-во Самарского университета.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.