

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

КОМПОНОВКА ЖРД

Рекомендовано редакционно-издательской комиссией института двигателей
и энергетических установок в качестве электронных методических указаний

Составители В.А. Борисов, В.С. Мелентьев

САМАРА
2017

УДК

Составитель **В. А. Борисов**

Рецензент: кандидат техн. наук, доцент В. С. Егорычев

Компоновка ЖРД: электрон. метод. указания / *сост. В.А. Борисов, В.С. Мелентьев.* – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – Электрон. и граф. дан. (4,03 Мбайт). – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по конструированию компоновки разрабатываемого в курсовом проекте ЖРД и рамы для его крепления к летательному аппарату.

Учебное пособие предназначено для специалистов по специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей», а также специальности 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов», бакалавров по специальности 24.03.01 «Ракетные комплексы и космонавтика», изучающих дисциплины «Конструкция и проектирование ракетных двигателей», «Ракетные двигатели».

Электронное учебное пособие разработано на кафедре конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов Самарского университета.

УДК

Содержание

Введение.....	4
1. Выполнение компоновки двигателя.....	4
1.1. Исходные данные и задание.....	4
1.2. Конструирование трубопроводов.....	5
1.3. Оценка компактности компоновки.....	5
1.4. Пример выполнения компоновки двигателя.....	6
2. Конструирование в 3D рамы крепления разрабатываемого двигателя.....	12
2.1. Описание конструкции рамы НК-33.....	12
2.2. Построение объёмной модели.....	14
2.3. Расчет с использованием пакета ANSYS напряжений в стержнях рамы и определение размеров их поперечного сечения.....	16
Заключение.....	18
Литература.....	18
Приложение А. Таблицы вариантов.....	19

Введение

Жидкостной ракетный двигатель состоит из одной или нескольких камер, турбонасосного агрегата, жидкостного газогенератора, агрегатов управления и регулирования. Все эти элементы связаны между собой трубопроводами и жгутами электропроводки и образуют компоновку двигателя. При разработке компоновки необходимо стремиться удовлетворить следующим требованиям[1]:

1. Обеспечить компактность и минимальную массу двигателя.
2. Иметь минимальные гидравлические и тепловые потери в магистралях (целесообразны короткие трубопроводы).
3. Обеспечить необходимую статическую и динамическую прочность двигателя в целом, а также его частей. В ЖРД одни элементы нагреты до высокой температуры, а другие имеют криогенную температуру. Поэтому при конструировании компоновки необходимо предусмотреть компенсацию температурных деформаций.
4. Обеспечить возможность и простоту монтажа и замены агрегатов двигателя.

Силовым элементом, на основе которого производится объединение всех элементов двигателя в одно целое, может быть камера или рама. Однокамерные двигатели чаще всего образуются на основе камеры. Остальные агрегаты крепятся к камере через трубопроводы и кронштейны.

В однокамерных двигателях рама используется для соединения двигателя с летательным аппаратом.

В многокамерных двигателях объединение всех элементов в одно изделие обычно производится с помощью рамы, которая служит и для передачи тяги на летательный аппарат.

Поскольку все агрегаты расположены в пространстве на двухмерном чертеже, выполнить компоновку двигателя сложно. Поэтому компоновку ЖРД необходимо сделать с использованием объёмного моделирования в одном из 3D-пакетов.

В лабораторной работе требуется сконструировать компоновку разрабатываемого в курсовом проекте ЖРД и раму для его крепления к летательному аппарату.

1. Выполнение компоновки двигателя

1.1. Исходные данные и задание

Основой для выполнения компоновки является ранее разработанная пневмогидравлическая (ПГС) схема ЖРД, чертежи агрегатов двигателя, материал, изложенный в лекциях, и прототипы – макеты двигателей, изученных на лабораторных занятиях.

В лабораторной работе выполняется компоновка только основных агрегатов ПГС: камеры, ТНА, газогенератора и главных клапанов, которые должны быть соединены трубопроводами.

При этом должна быть предварительно сделана 3D-модель камеры. Если другие агрегаты не разрабатывались, то используются их упрощённые оболочечные 3D-модели, выполненные по рекомендациям [2].

Диаметры трубопроводов определяются по расходу компонентов из уравнения неразрывности

$$F = m_{\text{тр}} / (w \cdot \rho),$$

- где F - площадь поперечного сечения трубопровода;
 $m_{\text{тр}}$ - расход компонента;
 w - рекомендуемая скорость течения компонента;
 ρ - плотность компонента.

При выполнении компоновки однокамерного двигателя базовым агрегатом является камера, к которой крепятся все остальные агрегаты и трубопроводы. Крупные агрегаты крепятся к камере при помощи кронштейнов и трубопроводов, остальные агрегаты держатся на трубопроводах.

Для однокамерного двигателя широко используются следующие схемы расположения камеры и ТНА:

- а) ТНА находится над камерой и его ось перпендикулярна оси камеры;
- б) ось ТНА параллельна оси камеры, ТНА рядом с камерой;
- в) ТНА находится в зоне критического сечения камеры, ось его перпендикулярна или наклонна оси камеры.

В лабораторной работе преподавателем могут быть поставлены задачи:

- 1) Уместить двигатель в цилиндрическом отсеке заданных размеров (ось цилиндра совпадает с осью камеры).
- 2) Создать двигатель минимальных размеров (должен быть минимальный объём цилиндра, описанного около двигателя).
- 3) Создать двигатель минимальных поперечных размеров, например, не выходящих за пределы среза сопла.

1.2. Конструирование трубопроводов

Трубопроводы должны в основном состоять из прямых отрезков, соединённых скруглёнными участками. Минимальный радиус скругления $R=(2...5)d$, где d – диаметр трубы. Меньший радиус скругления допускается для труб меньшего диаметра.

Во время работы двигателя не должно быть касания трубопроводов друг о друга и о других агрегатов. Минимальное расстояние между трубопроводами, а также между ними и другими агрегатами не менее ~20мм.

Трубопроводы окислителя (О) и горючего (Г) должны быть по возможности разнесены друг от друга. В то же время трубопроводы одного компонента целесообразно прокладывать эквидистантно друг другу на расстоянии 20...30мм.

1.3. Оценка компактности компоновки

Габариты двигателя должны быть минимальны, компоновка по возможности – плотной.

Для сравнения различных вариантов компоновки двигателя можно использовать минимальную величину объёма цилиндра V_{\min} , описанного вокруг двигателя. Причем ось цилиндра для однокамерного двигателя должна совпадать с осью камеры.

$$V_{\min} = \pi R^2 L,$$

где R - максимальное расстояние от оси камеры до наиболее удалённой части выступающего агрегата;

L - максимальная длина двигателя.

Можно определять коэффициент плотности компоновки

$$k_{\text{пл}} = V_{\text{дв}} / V_{\min},$$

где $V_{\text{дв}}$ – объём занятый всеми агрегатами, трубопроводами и другими элементами двигателя. Однако определение $V_{\text{дв}}$ требует больших затрат времени.

В лабораторной работе необходимо определить V_{\min} и удельный объём компоновки

$$V_{\text{уд}} = P / V_{\min}, \text{ кН/м}^3.$$

1.4. Пример выполнения компоновки двигателя

Ниже приводится пример построения объемной модели компоновки двигателя на основе двумерных чертежей.

Для выполнения объемной модели была использована программы 2D- и 3D-моделирования: «КОМПАС-3D v10» и «SolidWorks» и В программе «КОМПАС-3D v10 Plus» были созданы двумерные чертежи камеры. Размеры деталей на чертежах были использованы для построения объемной модели.

Для построения 3D-модели была использована программа «Solid Edge v 20». Выбор данной программы обусловлен следующими причинами:

- «SolidWorks» использует стандарт *Parasolid*, который легко конвертируется практически в любую программную среду. При этом достигается точная передача всех элементов;
- программа проста в использовании, имеет удобный интерфейс и высокую графическую прорисовку моделей;
- «SolidWorks» полностью русифицирована, не конфликтует с другими инженерными пакетами.

Получение готовых фотореалистичных изображений камеры были достигнуты следующим путем:

1. На двумерном чертеже выделялась деталь, которую необходимо выполнить в объеме.
2. Данная деталь в двумерном изображении выполнялась на отдельном формате в виде замкнутых контуров.
3. Полученное изображение сохранялось в формате *.dwg (формат позволяет открыть чертеж в программе объемного моделирования и использовать его в качестве эскиза).
4. Файл открывался в программе объемного моделирования «SolidWorks».

5. В программе открывался файл для создания новой объемной детали и полученное ранее изображение помещалось в качестве эскиза.
6. По данному эскизу выполнялась объемная модель детали со всеми конструктивными элементами.
7. После того, как созданы все детали в отдельности, они поэтапно помещались в файл сборки. Взаимное расположение определялось связями, наложенными на детали.
8. Для получения фотореалистичного изображения использовалось приложение «SolidWorks» PhotoWorks (Photo View), где путем присвоения каждой детали соответствующей текстуры, освещения, сцены и т.д. получалось фотореалистичное изображение всей сборки. Данное изображение можно использовать в презентациях для наглядного изображения конструкции, в особенности, когда отсутствует реальный прототип.

Этапы создание объемной модели компоновочной схемы двигателя можно проследить на примере создания объемной модели камеры. На рисунке 1 представлен продольный разрез этой камеры.

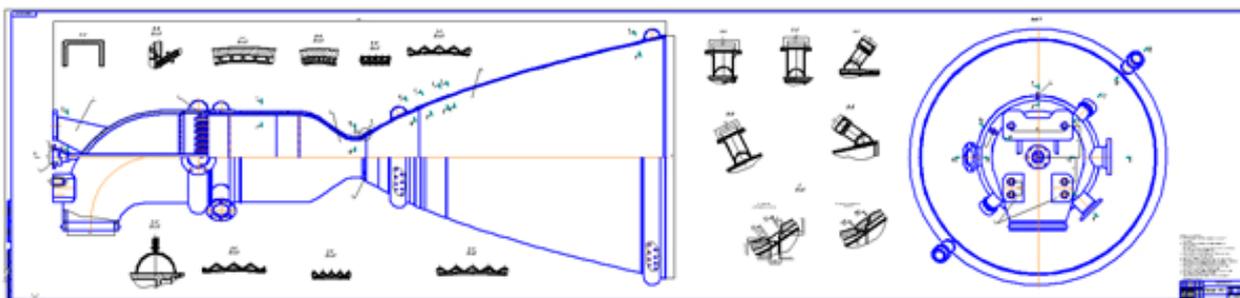


Рисунок 1 – Сборочный чертеж камеры (Компас-3D v10)

На рисунке 2 представлено двумерное изображение контура камеры, которое впоследствии будет использовано в качестве эскиза для выполнения ее объемной модели.

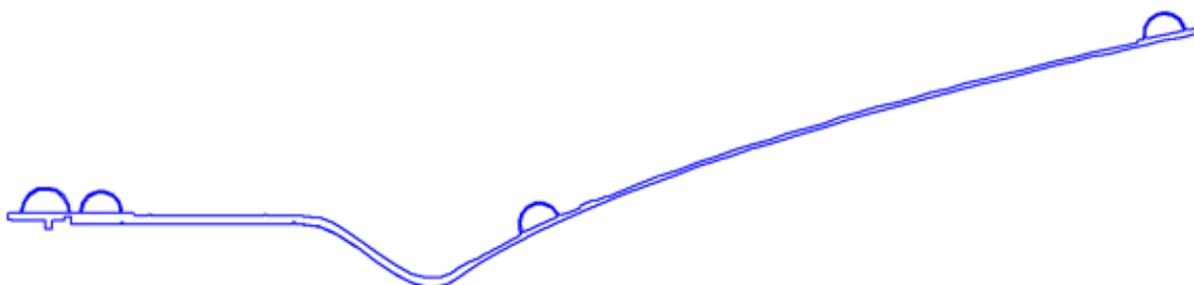


Рисунок 2 – Двумерное изображение контура камеры (Компас-3D v10)

На базе полученного изображения детали в программе объемного моделирования SolidWorks выполняется 3D модель камеры. Как видно из рисунка 2, двумерное изображение, сохраненное в формате dwg, использовалось в качестве эскиза.

Далее устанавливаются на камере патрубки для подвода и отвода компонентов, а также штуцеры для замера давлений. Для этого используем чертежи этих деталей. Полученный результат показан на рисунке 3.

По изложенному принципу происходило построение всех деталей, входящих в сборку.

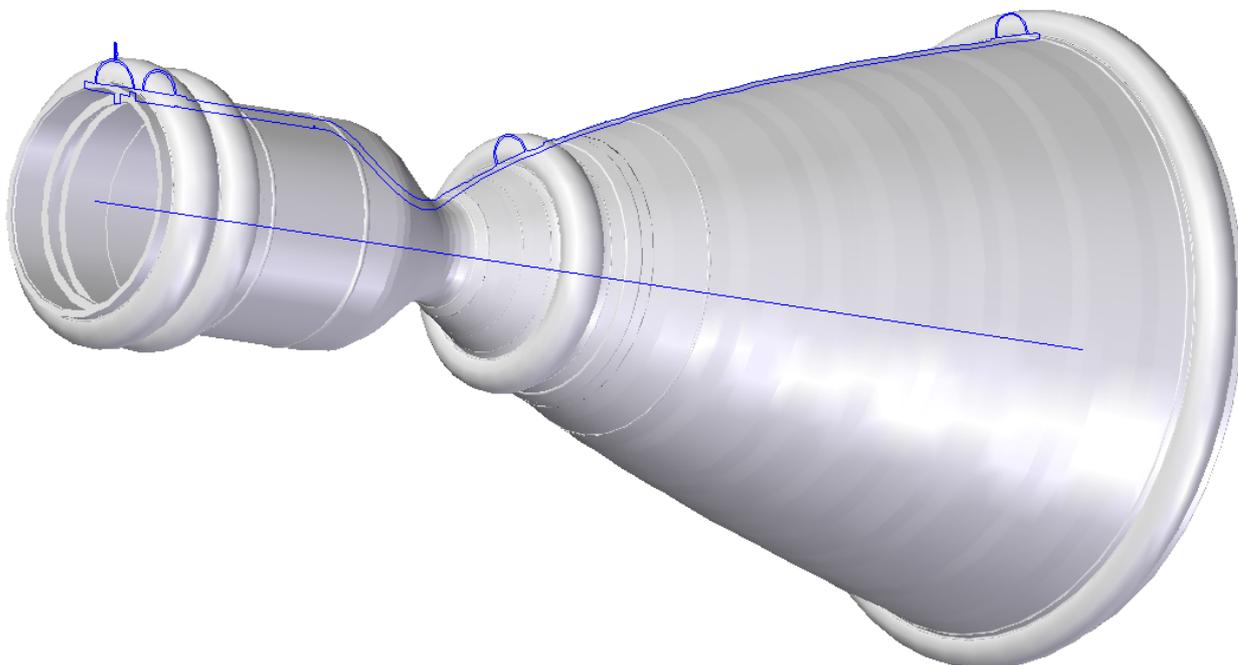


Рисунок 3 – Объемная модель камеры (SolidWorks)

После того, как все детали построены в объеме, необходимо последовательно их собрать. Для проверки собираемости реальной конструкции, сборка должна проводиться в последовательности, соответствующей действительности. При этом программа объемного моделирования «SolidWorks» позволяет собирать детали, учитывая их взаимное пересечение, что может устранить многие недостатки конструкции уже на этапе моделирования.

На рисунке 4 изображена конструкция корпуса камеры со всеми элементами.

Следующим этапом являлось построение газовода с опорами для крепления двигателя, который присоединялся к корпусу камеры. Затем строилась объемная модель ТНА с газогенератором и выполнялась сборка двигателя. Наконец, строились трубопроводы, которые соединяли все

агрегаты. Полученная объемная модель компоновки двигателя представлена на рисунке 5.

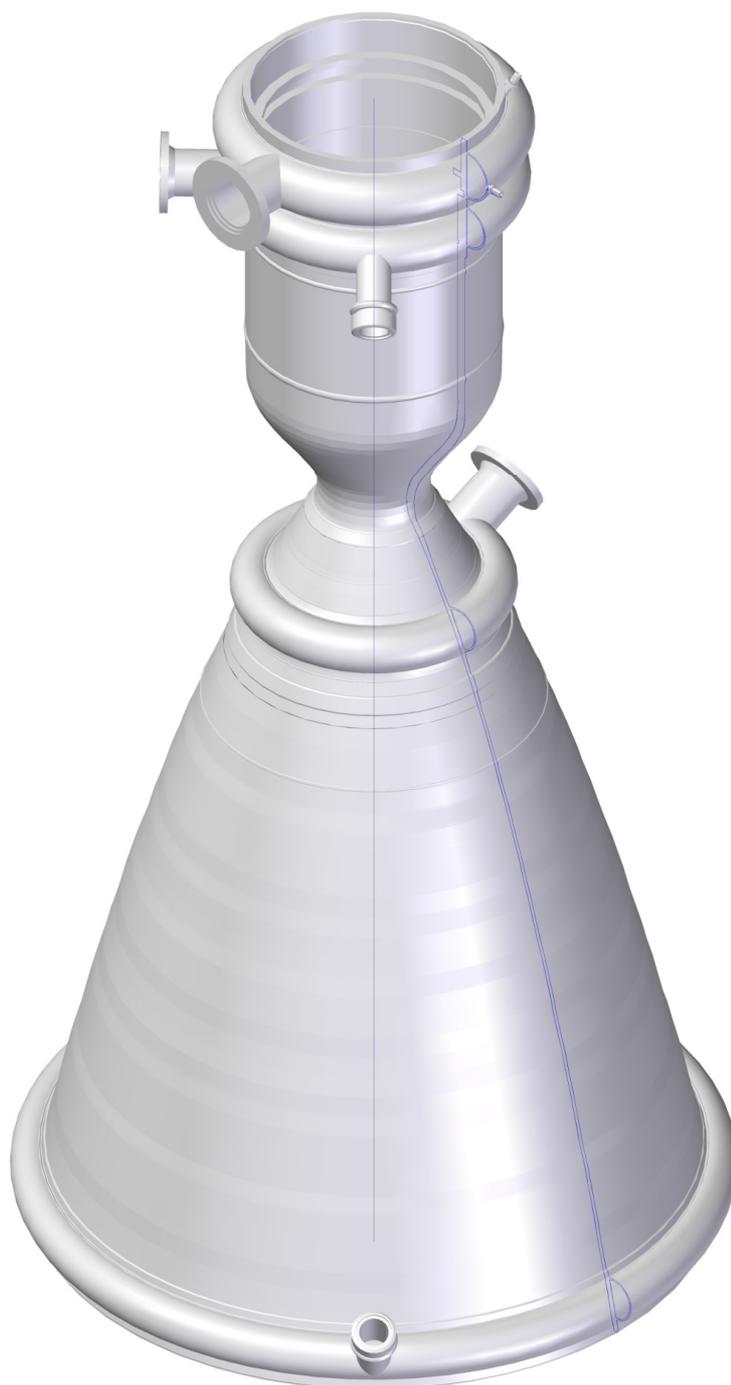


Рисунок 4 – Объемная модель камеры (SolidWorks)

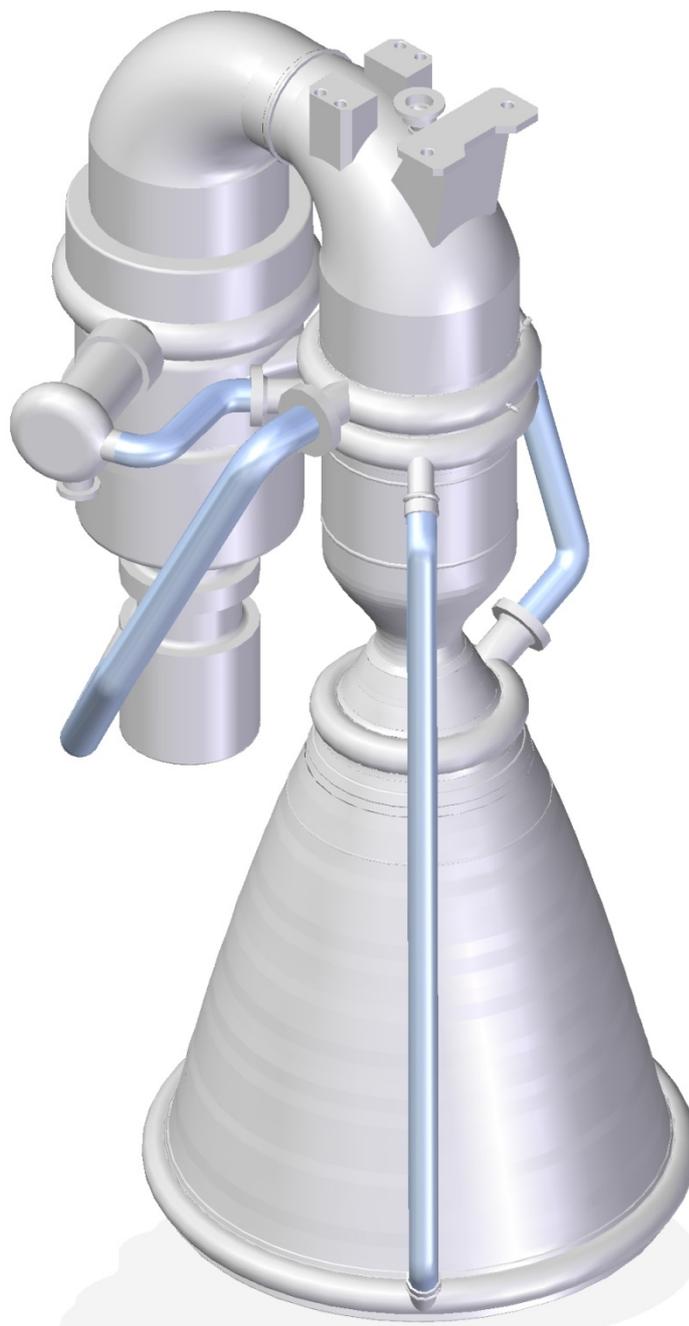


Рисунок 5 – Объемная модель компоновки двигателя (SolidWorks)

Можно создать фотореалистичное изображение компоновки с помощью приложения программы «SolidWorks» - «PhotoWorks (Photo View)». Для этого присвоим всем элементам сборки материал «Блестящая сталь», зададим подходящие декорации сцены и подсветку, в разделе «Режим отображения» выберем «Фотореализм».

Фотореалистичное изображение компоновки представлено на рисунке 6.



Рисунок 6 – Фотореалистичное изображение компоновки

2. Конструирование в 3D рамы крепления разрабатываемого двигателя

Целью работы является изучение конструкции и прочности рамы крепления реактивного двигателя.

В качестве прототипа конструкции рамы однокамерного двигателя взята рама ЖРД НК -33, показанная на рисунке 7.

Задачами работы являются:

- получение варианта параметров рамы и ознакомление с её размерами согласно таблицам в приложении;
- построение в САД-пакете объёмной модели рассматриваемой рамы по своим размерам;
- передача созданной геометрии рамы в САЕ-пакет Ansys Workbeanch;
- разбиение модели рамы на сетку конечных элементов;
- приложение граничных условий;
- выполнение статического расчёта на прочность с определением картины распределения напряжений и напряжений в стержнях рамы;
- выполнение аналитическим путём устойчивости стержней рамы.

2.1. Описание конструкции рамы НК-33

Рама сварная и состоит из полых стержней, выполненных из стали 30ХГСА.

Верхняя часть рамы из труб наружным диаметром 40мм, внутренним – 30мм образует квадрат со стороной 570мм. По углам этого квадрата приварены цилиндрические опоры с отверстиями под крепёжные элементы для соединения с рамой или шпангоутом летательного аппарата.

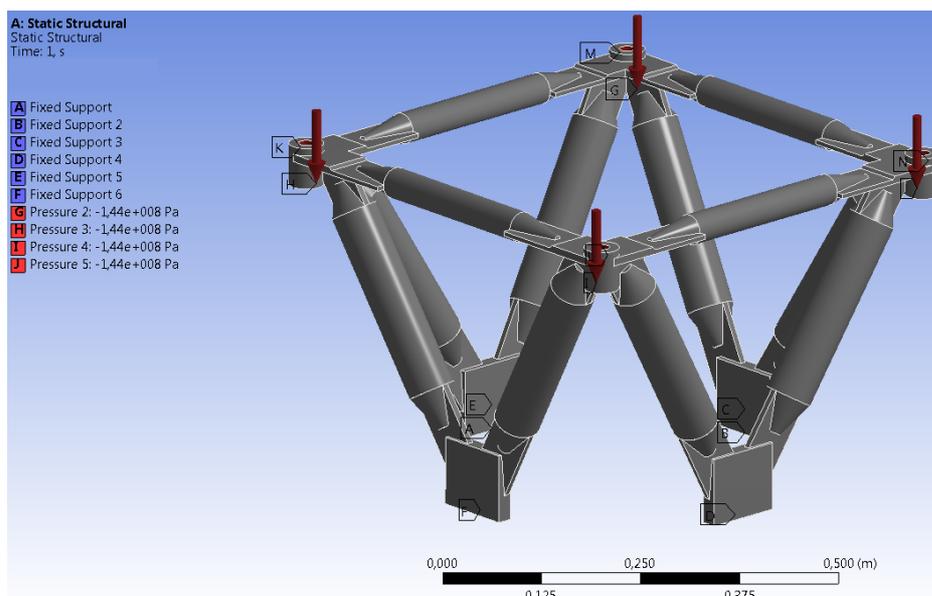


Рисунок 7 - Конструкция рамы НК-33

От каждой опоры идёт по два стержня-подкоса к четырём платам, которые служат для соединения с опорами двигателя. Длина подкосов – 530мм, наружный диаметр – 60мм, внутренний – 40мм.

Для восприятия всех нагрузок от двигателя на каждой плате имеются отверстия под штифт Ø14мм и два отверстия под шпильки М18.

Соединение труб с платами и опорами производится через косынки-пластины, которые вставлены в прорези на концах труб и обварены.

На рис.8 показана схема рамы НК-33 с обозначениями основных элементов. В таблице 1 приведены численные значения этих элементов для НК-33.

На конструкцию действует нагрузка 150 тонн, т.е. 1470000 Н, представляющая собой тягу двигателя. Эта сила делится на четыре точки закрепления (опоры в верхней части конструкции). Таким образом, на каждую точку закрепления приходится 367500 Н.

Используя данные таблицы 1 можно выполнять расчёт конструкции рамы при различных размерах. Сравнивая варианты рамы между собой, можно подобрать вариант, наиболее отвечающий задачам снижения напряжений в конструкции, уменьшения веса или снижения величины деформации точек крепления.

Таблица 1

Пример построения объёмной модели рамы (значения размеров рамы НК-33)

№ п/п	Параметр	Значение, мм	№ п/п	Параметр	Значение, мм
1	A	550	16	L	90
2	B	480	17	M	20
3	C	450	18	N	235
4	D	595	19	P	180
5	E	550	20	Q	96
6	F1	60	21	R	10
7	F2	40	22	S	6
8	F3	38	23	T	172
9	F4	20	24	U	8
10	G	55	25	V	60
11	H	157,5	26	W1	50
12	I1	20	27	W2	68
13	I2	45	28	P _{тяги}	1470 кН
14	J	67,5	29	D1	55
15	K	100	30	D2	36

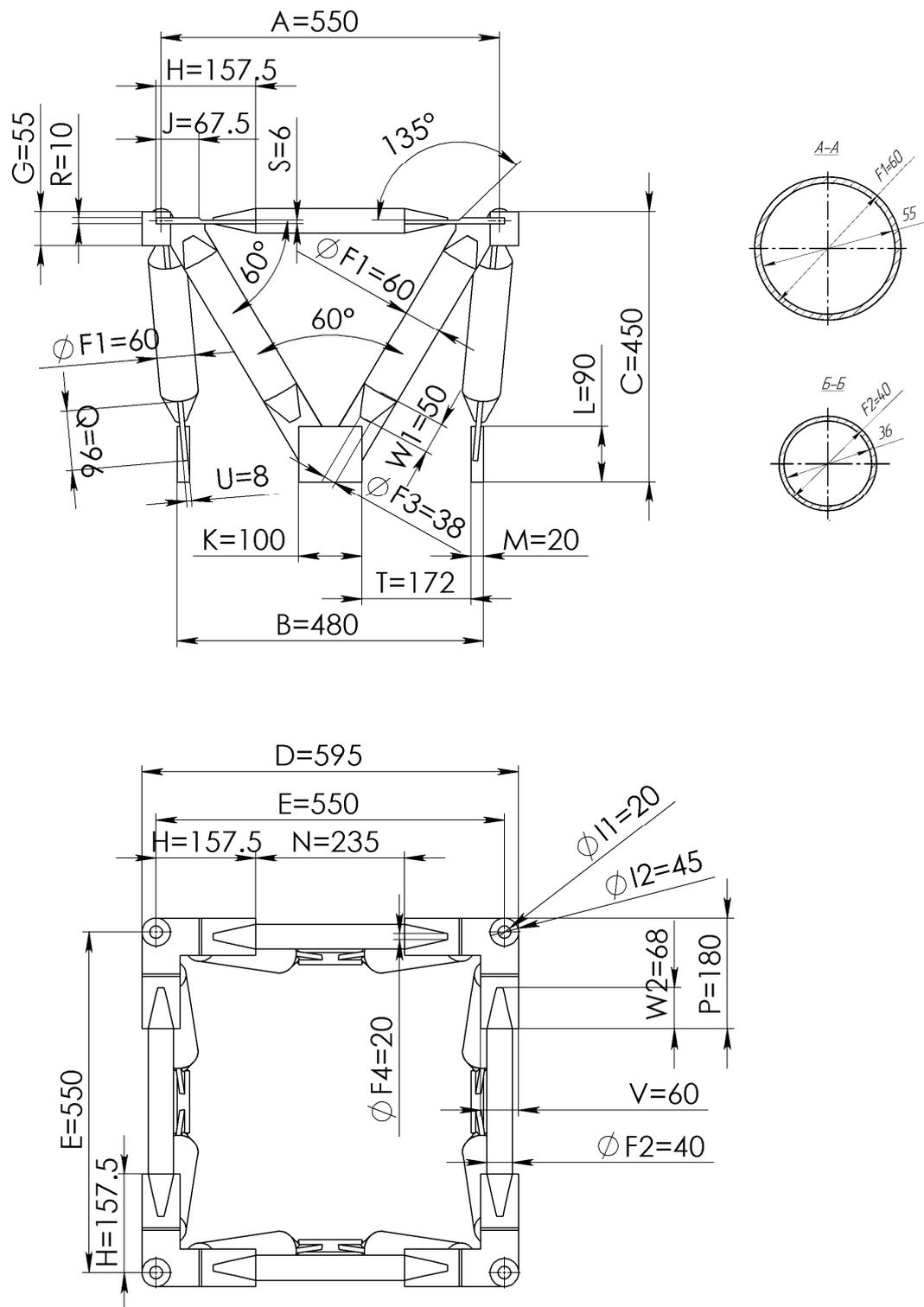


Рисунок 8 - Схема рамы НК-33

2.2. Построение объёмной модели

Для построения объёмной модели можно использовать любой пакет 3D-моделирования, например, NX, SolidWorks, SolidWorks, КОМПАС и другие. Внешний вид модели НК-33 показан на рисунках 9 и 10. В данной работе модель строилась с использованием пакета SolidWorks.

Модель имеет зеркальную симметрию относительно вертикальных плоскостей, проходящих через середины верхних стержней. Поэтому для её построения достаточно использовать четверть рамы, как показано на рисунке 11, а затем создать её зеркальные отражения, используя инструмент .

Для построения самой геометрии рамы достаточно использовать операции: - "Вытянутая бобышка/основание" , создающие объёмную геометрию за счёт вытягивания исходного эскиза вдоль направляющей; - "Повёрнутая бобышка/основание" , создающая объёмную геометрию за счёт поворота исходного сечения относительно оси; - "Вытянутый вырез"  для создания вида (спереди), XZ (сверху), YZ (справа), связанные с общей системой координат отверстий.

По умолчанию для создания эскизов доступны плоскости  XY.

. Если требуется создать эскиз в другой плоскости, её нужно задать, используя инструмент "Справочная геометрия - Плоскость" . Подробнее о создании объёмных моделей смотри [1].

При создании модели основное внимание следует уделять сопряжениям между элементами, чтобы избежать появления лишних кромок и поверхностей, особенно небольшого размера, поскольку это приведёт к созданию концентраторов напряжений в конечно-элементной модели.

Массы и моменты инерции детали можно узнать с помощью инструмента "Массовые характеристики" .

Для построения рамы других размеров задаются соответствующие параметры. При этом на камере должно быть 4 опоры.

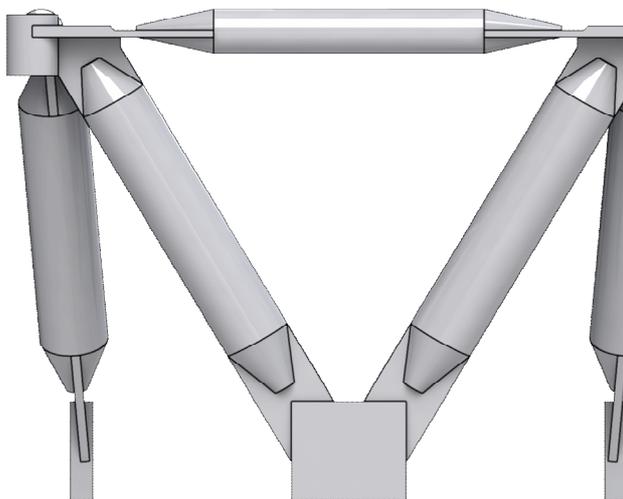


Рисунок 9 - Фронтальный вид



Рисунок 10 - Общий вид

Для построения рамы других размеров задаются соответствующие параметры рамы и тяга двигателя.. При этом на камере должно быть 4 опоры. Должны быть заданы расстояния между опорами камеры (расстояние между платами, на рис.4 это размер В) и высота рамы (размер С). Отношение размеров D/В примерно равно 1,2. Размеры стержней рамы назначаются с учетом коэффициентов запаса прочности и устойчивости.

2.3. Расчет с использованием пакета ANSYS напряжений в стержнях рамы и определение размеров их поперечного сечения

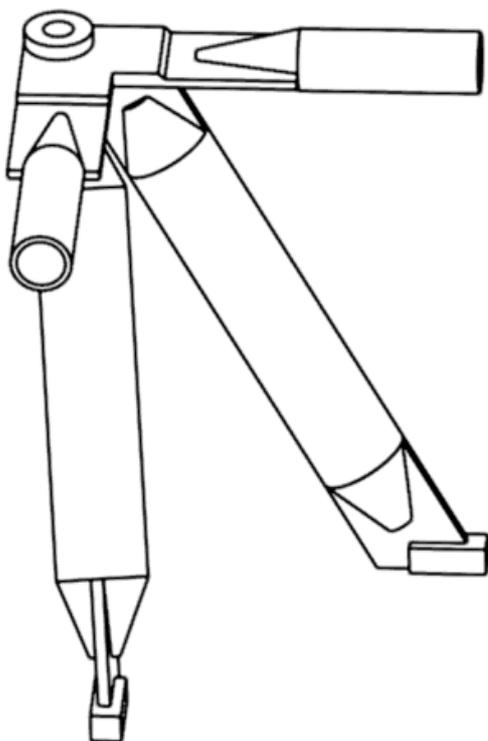


Рисунок 11 - Четверть рамы

Расчёт созданной модели может быть произведён в любом конечно-элементном пакете, например, ANSYS, NASTRAN и т.д. В данной работе для расчёта использовался модуль ПО ANSYS Work Bench.

Модель импортируется в ПО ANSYS в формате Parasolid, позволяющем точно передать геометрию рамы. Для расчёта достаточно четверти рамы. Модель разбивается на конечные элементы Mechanical Tetrahedrons (тетрагональная сетка для расчёта конструктивной геометрии). Размеры подбираются вручную. Начать следует с Coarse (самая грубая сетка) и затем, если будет возможность, улучшить сетку. В качестве материала выбирается Structural Steel (Конструкционная сталь: Модуль упругости E (EX) = $2 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона μ (PRXY) = 0,33, плотность ρ (DENS) = 7800 кг/м^3).

В качестве граничных условий (см. рис.6) используются жёсткие заделки (Fixed Support) A, B, C, D, E, F ; распределённые нагрузки (Pressure) G, H, I, J ; ограничения перемещений (Displacement) K, L, M, N , которые выбраны из условий работы рамы. Жёсткие заделки A, B, C, D, E, F представляют собой закрепления по всем шести степеням свободы нижних пластин вдоль горизонтальных плоскостей. Распределённые нагрузки G, H, I, J моделируют собой усилия от тяги двигателя. При этом усилие на одну опору (для НК-33 это 367500Н) делится на площадь, к которой приложена нагрузка. Такое приложение является более реалистичным, чем приложение вектора силы в одном узле, что могло бы создать в этом месте концентрацию напряжений. Ограничения перемещений K, L, M, N обеспечивают перемещение верхних площадок закреплений в строго вертикальном направлении, что также обусловлено, конструкцией рамы (в этом месте она крепится к массивной детали двигателя).

Расчёт выполняется в статической постановке (Nonlinear Effects: No или Small Displacement) без учёта нелинейности, вследствие малости деформаций конструкции. Для расчёта используется команда Solve . Подробнее о проведении прочностных и динамических расчётов с использованием готовой объёмной модели смотрите [3].

Итогом расчёта выступает диаграмма распределения эквивалентных напряжений по объёму конструкции (рисунок 12).

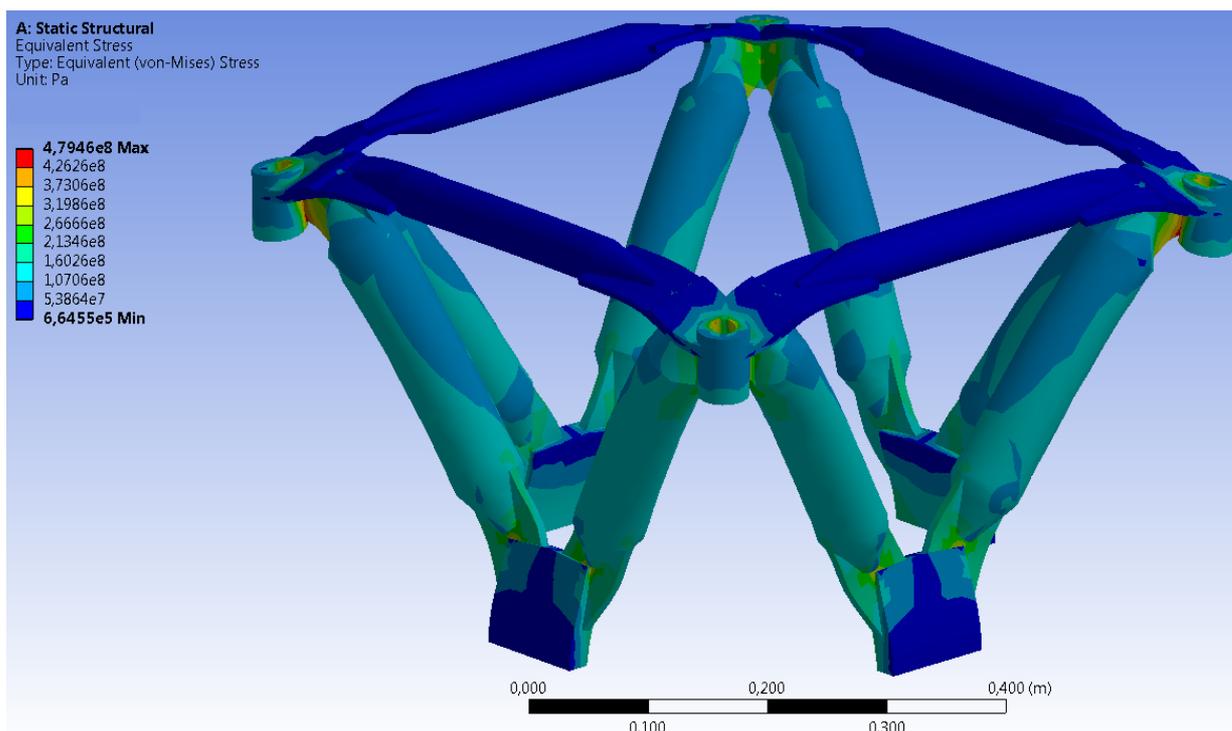


Рисунок 12 - Распределение эквивалентных напряжений по конструкции (Па)

На диаграмме (рисунок 10) хорошо виден характер деформации рамы. Используя данную диаграмму, можно найти минимальные и максимальные значения напряжений в горизонтальных и наклонных стержнях конструкции, чтобы использовать их для расчёта устойчивости стержней по классическим формулам теории упругости.

Полученные напряжения необходимо сравнить с допусаемым пределом текучести для материала рамы и определить коэффициент запаса, который вычисляется по формуле:

$$K = \frac{\sigma_B}{\sigma_{max}}$$

В качестве материалов отчёта должны быть предоставлены:

1. 3D-модели компоновки камеры с агрегатами и рамы в формате Parasolid;
- Отчёт, содержащий:
 2. Фотореалистичное отображение компоновки камеры с агрегатами;
 3. Картина распределения эквивалентных напряжений по раме;
 4. Расчёт запаса прочности рамы и коэффициент запаса;
 5. Вывод по работе.

Заключение

Как следует из приведённого обзора креплений ЖРД, их конструкция весьма разнообразна и определяется конкретным назначением и устройством двигателя и летательного аппарата. Общими остаются основные требования: прочность, жесткость и надёжность работы при минимальной массе.

При неподвижной установке двигателя конструкция креплений простая, но все детали крепления силовые, необходим расчет их прочности, рациональный выбор материала и технологии изготовления.

Крепления двигателя при подвижной установке могут весьма сложными, особенно, если необходимо обеспечить управление летательным аппаратом в пространстве относительно всех координатных осей. Примером такого крепления может быть карданный подвес с шаровой пятой (рис. 9-11).

Изучение материала пособия позволяет найти прототипы для решения конструкторских задач, поставленных в курсовых и дипломных проектах.

Литература

1. Жидкостные ракетные двигатели: основы проектирования : учеб. для вузов, изд. 2-е, перераб. и доп. / [Добровольский М. В. и др.] ; под ред. Д. А. Ягодникова. – М. : Изд-во МГТУ, 2005. – 487 с.
2. *Борисов В. А.* Основы конструирования ракетных двигателей : учеб. пособие / В. А. Борисов. – Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 98 с.: ил.
3. *Гвоздев А. С.* Изучение конструкции двигателей с использованием 3D-моделей их элементов : метод. указания / А. С. Гвоздев, В. С. Мелентьев, Д. С. Лежин. – Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. – 23 с.: ил.
4. *Гвоздев А. С.* Изучение конструкции авиационных ДВС с совместным использованием пакетов ANSYS, ADAMS, SolidWorks : метод. указания / А. С. Гвоздев, В. С. Мелентьев. – Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. – 53 с.: ил.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ТАБЛИЦЫ ВАРИАНТОВ

Значение коэффициента k для всех вариантов от 7 до 10 может подбираться с целью обеспечения допустимой прочности конструкции.

Вариант 1

№ п/п	Параметр	Значение, мм	№ п/п	Параметр	Значение, мм
1	A	555	16	L	91
2	B	470	17	M	20,25
3	C	455	18	N	237,2
4	D	575	19	P	182
5	E	555	20	Q	свободный
6	F1	57,5	21	R	10,625
7	F2	42,5	22	S	6,3
8	F3	36	23	T	165,75
9	F4	21	24	U	7,6
10	G	56	25	V	63
11	H	158,9	26	W1	C/k
12	I1	9	27	W2	E/k
13	I2	20	28	Р _{тяги}	со своей камеры
14	J	68,1	29	D1	50
15	K	98	30	D2	38

Вариант 2

№ п/п	Параметр	Значение, мм	№ п/п	Параметр	Значение, мм
1	A	560	16	L	92
2	B	460	17	M	20,5
3	C	460	18	N	239,2
4	D	597	19	P	184
5	E	560	20	Q	свободный
6	F1	55	21	R	11,25
7	F2	45	22	S	6,6
8	F3	35	23	T	161,5
9	F4	23	24	U	7,2
10	G	56	25	V	66
11	H	160,4	26	W1	C/k
12	I1	16	27	W2	E/k
13	I2	37	28	Р _{тяги}	со своей камеры
14	J	68,7	29	D1	45
15	K	96	30	D2	40

Вариант 3

№ п/п	Параметр	Значение, мм	№ п/п	Параметр	Значение, мм
1	A	565	16	L	93
2	B	450	17	M	20,75
3	C	465	18	N	241,4
4	D	593	19	P	185
5	E	565	20	Q	свободный
6	F1	52,5	21	R	11,875
7	F2	47,5	22	S	6,9
8	F3	33	23	T	157,25
9	F4	24	24	U	6,8
10	G	57	25	V	69
11	H	161,8	26	W1	С/к
12	И1	12	27	W2	Е/к
13	I2	28	28	Р _{тяги}	со своей камеры
14	J	69,3	29	D1	40
15	K	94	30	D2	42

Вариант 4

№ п/п	Параметр	Значение, мм	№ п/п	Параметр	Значение, мм
1	A	570	16	L	94
2	B	440	17	M	21
3	C	470	18	N	243,6
4	D	595	19	P	187
5	E	570	20	Q	свободный
6	F1	50	21	R	12,5
7	F2	50	22	S	7,3
8	F3	31	23	T	153
9	F4	25	24	U	6,3
10	G	57	25	V	72
11	H	163,2	26	W1	С/к
12	И1	11	27	W2	Е/к
13	I2	25	28	Р _{тяги}	со своей камеры
14	J	69,9	29	D1	35
15	K	92	30	D2	44

Вариант 5

№ п/п	Параметр	Значение, мм	№ п/п	Параметр	Значение, мм
1	A	575	16	L	95
2	B	430	17	M	21,25
3	C	475	18	N	245,6
4	D	615	19	P	189
5	E	575	20	Q	свободный
6	F1	47,5	21	R	13,125
7	F2	52,5	22	S	7,6
8	F3	30	23	T	148,75
9	F4	26	24	U	5,9
10	G	58	25	V	75
11	H	164,7	26	W1	С/к
12	И1	18	27	W2	Е/к
13	I2	40	28	Р _{тяги}	со своей камеры
14	J	70,6	29	D1	30
15	K	90	30	D2	46

Вариант 6

№ п/п	Параметр	Значение, мм	№ п/п	Параметр	Значение, мм
1	A	580	16	L	96
2	B	420	17	M	21,5
3	C	480	18	N	247,8
4	D	623	19	P	190
5	E	580	20	Q	свободный
6	F1	45	21	R	13,75
7	F2	55	22	S	7,9
8	F3	28	23	T	144,5
9	F4	28	24	U	5,5
10	G	59	25	V	78
11	H	166,1	26	W1	С/к
12	И1	19	27	W2	Е/к
13	I2	43	28	Р _{тяги}	со своей камеры
14	J	71,2	29	D1	25
15	K	88	30	D2	48

Вариант 7

№ п/п	Параметр	Значение, мм	№ п/п	Параметр	Значение, мм
1	A	585	16	L	97
2	B	410	17	M	21,75
3	C	485	18	N	250
4	D	620	19	P	192
5	E	585	20	Q	свободный
6	F1	42,5	21	R	14,375
7	F2	57,5	22	S	8,2
8	F3	26	23	T	140,25
9	F4	29	24	U	5,1
10	G	59	25	V	81
11	H	167,5	26	W1	С/к
12	И1	16	27	W2	Е/к
13	I2	35	28	Р _{тяги}	со своей камеры
14	J	71,8	29	D1	20
15	K	86	30	D2	50

Вариант 8

№ п/п	Параметр	Значение, мм	№ п/п	Параметр	Значение, мм
1	A	590	16	L	98
2	B	400	17	M	22
3	C	490	18	N	252
4	D	620	19	P	194
5	E	590	20	Q	свободный
6	F1	40	21	R	15
7	F2	60	22	S	8,5
8	F3	25	23	T	136
9	F4	30	24	U	4,7
10	G	60	25	V	84
11	H	169	26	W1	С/к
12	И1	13	27	W2	Е/к
13	I2	30	28	Р _{тяги}	со своей камеры
14	J	72,4	29	D1	26
15	K	84	30	D2	52

Вариант 9

№ п/п	Параметр	Значение, мм	№ п/п	Параметр	Значение, мм
1	A	570	16	L	99
2	B	390	17	M	22,25
3	C	495	18	N	243,6
4	D	596	19	P	187
5	E	570	20	Q	свободный
6	F1	37,5	21	R	15,625
7	F2	62,5	22	S	8,8
8	F3	23	23	T	131,75
9	F4	31	24	U	4,3
10	G	61	25	V	87
11	H	163,2	26	W1	С/к
12	И1	12	27	W2	Е/к
13	I2	26	28	Р _{тяги}	со своей камеры
14	J	69,9	29	D1	32
15	K	82	30	D2	54

Вариант 10

№ п/п	Параметр	Значение, мм	№ п/п	Параметр	Значение, мм
1	A	550	16	L	100
2	B	380	17	M	22,5
3	C	500	18	N	235
4	D	577	19	P	180
5	E	550	20	Q	свободный
6	F1	35	21	R	16,25
7	F2	65	22	S	9,1
8	F3	21	23	T	127,5
9	F4	33	24	U	3,8
10	G	61	25	V	90
11	H	157,5	26	W1	С/к
12	И1	12	27	W2	Е/к
13	I2	27	28	Р _{тяги}	со своей камеры
14	J	67,5	29	D1	30
15	K	80	30	D2	56

Вариант 11

№ п/п	Параметр	Значение, мм	№ п/п	Параметр	Значение, мм
1	A	530	16	L	98
2	B	370	17	M	22
3	C	490	18	N	226,4
4	D	563	19	P	174
5	E	530	20	Q	свободный
6	F1	37,5	21	R	16,875
7	F2	67,5	22	S	9,4
8	F3	23	23	T	124
9	F4	34	24	U	4,3
10	G	60	25	V	86
11	H	151,8	26	W1	С/к
12	И1	15	27	W2	Е/к
13	I2	33	28	Р _{тяги}	со своей камеры
14	J	65,1	29	D1	32
15	K	78	30	D2	58

Вариант 12

№ п/п	Параметр	Значение, мм	№ п/п	Параметр	Значение, мм
1	A	510	16	L	96
2	B	360	17	M	21,5
3	C	480	18	N	218
4	D	541	19	P	167
5	E	510	20	Q	свободный
6	F1	40	21	R	17,5
7	F2	70	22	S	9,8
8	F3	25	23	T	120,5
9	F4	35	24	U	4,7
10	G	59	25	V	82
11	H	146	26	W1	С/к
12	И1	14	27	W2	Е/к
13	I2	31	28	Р _{тяги}	со своей камеры
14	J	62,6	29	D1	34
15	K	76	30	D2	60

Вариант 13

№ п/п	Параметр	Значение, мм	№ п/п	Параметр	Значение, мм
1	A	490	16	L	94
2	B	350	17	M	21
3	C	470	18	N	209,4
4	D	524	19	P	160
5	E	490	20	Q	свободный
6	F1	42,5	21	R	18,125
7	F2	72,5	22	S	10,1
8	F3	26	23	T	117
9	F4	36	24	U	5,1
10	G	57	25	V	78
11	H	140,3	26	W1	С/к
12	И1	15	27	W2	Е/к
13	I2	34	28	Р _{тяги}	со своей камеры
14	J	60,1	29	D1	36
15	K	74	30	D2	62

Вариант 14

№ п/п	Параметр	Значение, мм	№ п/п	Параметр	Значение, мм
1	A	470	16	L	92
2	B	340	17	M	20,5
3	C	460	18	N	200,8
4	D	514	19	P	154
5	E	470	20	Q	свободный
6	F1	45	21	R	18,75
7	F2	75	22	S	10,4
8	F3	28	23	T	113,5
9	F4	38	24	U	5,5
10	G	56	25	V	74
11	H	134,6	26	W1	С/к
12	И1	20	27	W2	Е/к
13	I2	44	28	Р _{тяги}	со своей камеры
14	J	57,7	29	D1	38
15	K	72	30	D2	64

Вариант 15

№ п/п	Параметр	Значение, мм	№ п/п	Параметр	Значение, мм
1	A	450	16	L	90
2	B	330	17	M	20
3	C	450	18	N	192,2
4	D	492	19	P	147
5	E	450	20	Q	свободный
6	F1	47,5	21	R	19,375
7	F2	77,5	22	S	10,7
8	F3	30	23	T	110
9	F4	39	24	U	5,9
10	G	55	25	V	70
11	H	128,9	26	W1	C/к
12	И1	19	27	W2	Е/к
13	I2	42	28	Р _{тяги}	со своей камеры
14	J	55,2	29	D1	40
15	K	70	30	D2	66

Вариант 16

№ п/п	Параметр	Значение, мм	№ п/п	Параметр	Значение, мм
1	A	430	16	L	88
2	B	320	17	M	19,5
3	C	440	18	N	183,8
4	D	452	19	P	140
5	E	430	20	Q	свободный
6	F1	50	21	R	20
7	F2	80	22	S	11
8	F3	31	23	T	106,5
9	F4	40	24	U	6,3
10	G	54	25	V	66
11	H	123,1	26	W1	C/к
12	И1	10	27	W2	Е/к
13	I2	22	28	Р _{тяги}	со своей камеры
14	J	52,8	29	D1	42
15	K	68	30	D2	68