

Модели в аэродинамическом эксперименте.

В аэродинамике практически все экспериментальные исследования проводятся на моделях, геометрически подобных натурным объектам. В зависимости от поставленной задачи и располагаемого экспериментального оборудования модели выполняются по законам полного подобия и частичного или неполного подобия.

Основным вопросом при создании модели является выбор размеров модели и обеспечение требуемых условий по воспроизведению поверхности летательного аппарата. Как известно, при дозвуковых скоростях потока решающим критерием является число Рейнольдса, в которое входит линейный размер исследуемого объекта.

Размер модели определяется следующими факторами:

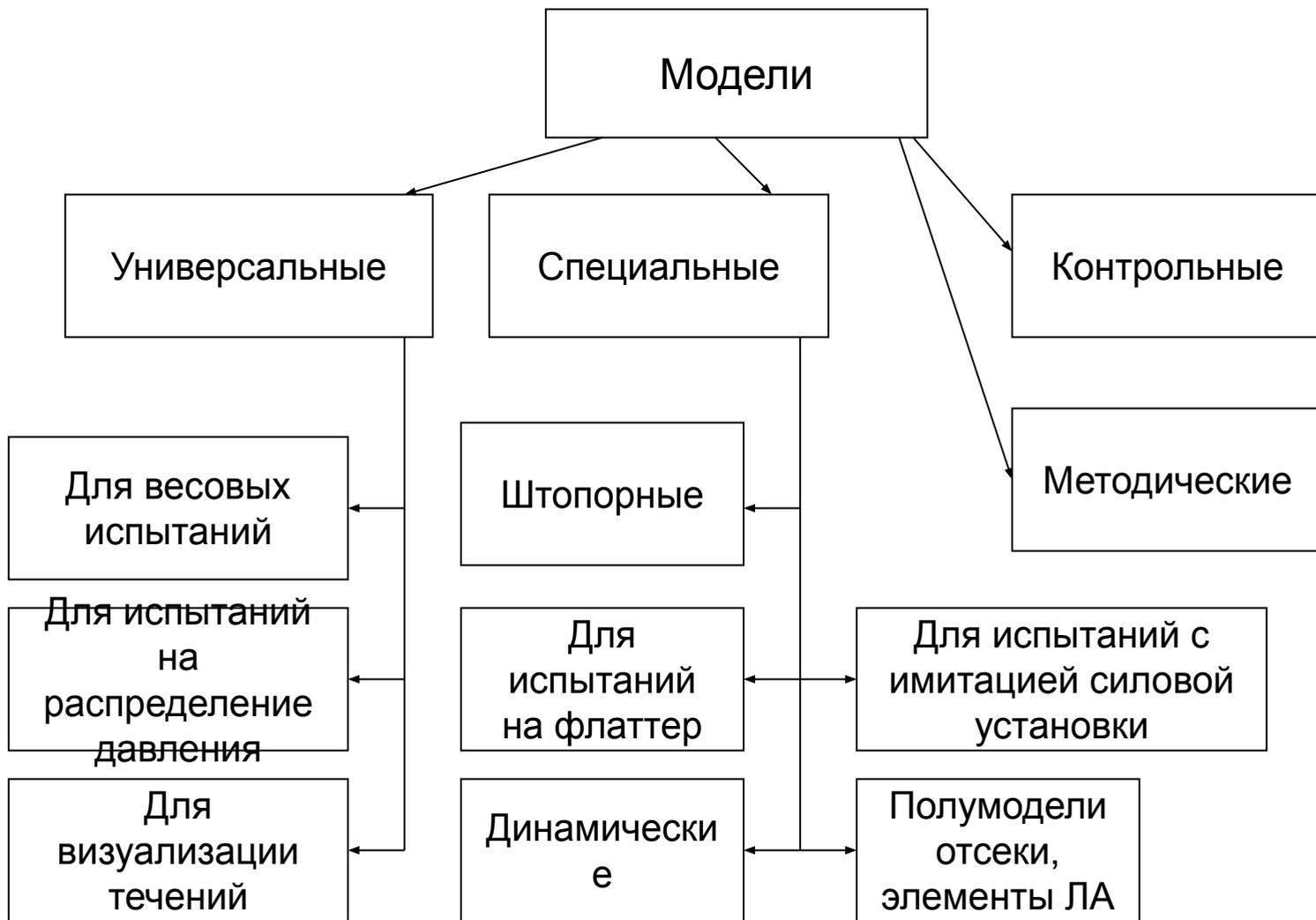
- **размером рабочей части аэродинамической трубы;**
- **степенью влияния границ потока в данной трубе;**
- **возможностями производственной базы изготовления модели;**
- **энергетическими возможностями трубы;**
- **метрологическими возможностями трубы;**
- **величинами аэродинамических сил и моментов, действующих на модель.**

Как правило, все эти факторы относятся к максимально допустимым размерам модели. Существуют также минимально допустимые размеры модели, которые определяются в основном метрологическими характеристиками оборудования трубы.

С точки зрения получения максимального числа Рейнольдса, необходимо иметь в эксперименте максимально допустимый размер модели. Если считать технические факторы решенными, то остаются факторы, связанные с влиянием границ потока аэродинамической трубы.

Основным параметром является так называемый индукционный параметр $C_Y S/F$ и $C_X S/F$, а также l/B или l/D , где C_Y C_X - коэффициенты подъемной силы и силы лобового сопротивления модели, S - площадь крыла модели, F - площадь поперечного сечения рабочей части трубы, l - размах крыла, B , D - ширина или диаметр рабочей части трубы

Классификация моделей



Проектирование и изготовление моделей для испытаний в аэродинамических трубах дозвуковых и околозвуковых скоростей.

Аэродинамическая труба Т-106

Проектирование модели начинается с выдачи задания, в котором должны быть чётко определены задачи эксперимента, состав модели, её геометрические характеристики, координаты и плазы контрольных сечений. Затем начинается определение компоновки модели и подвесных устройств трубы.

Модель крепится в рабочей части трубы шарнирно в трёх точках на жёстко натянутых стреловидных лентах в перевёрнутом положении

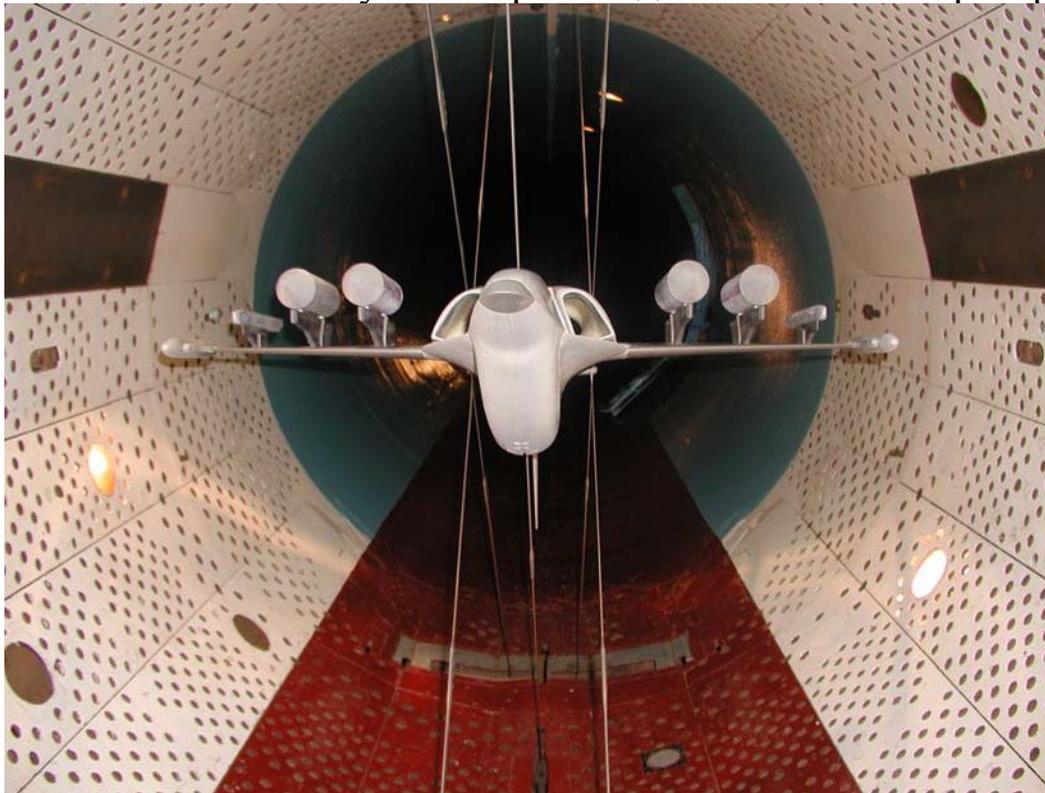


Рис.1

Диапазон углов атаки модели $\alpha = -10^\circ \div +23^\circ$ или $\alpha = 0^\circ \div 33^\circ$.

Смещая узлы подвески модели по вертикали, если позволяет конструкция, можно несколько изменить эти диапазоны.

Применяемые базы подвесных устройств в Т-106:

- продольная - $L_x = 600\text{мм}, 800\text{мм}$;
- продольная хвостовая $L_x = 350\text{мм}$;
- продольная хвостовая для невесовых испытаний $L_x = 750\text{мм}, 1000\text{мм}$:
 - поперечная - $L_z = 110 \dots 700\text{мм}, 800\text{мм}, 1000\text{мм}$.

Максимальные размеры модели не должны превышать по длине 2200мм, по размаху 1700мм, по площади крыла $S < 0.6\text{м}^2$.

Максимальный диаметр фюзеляжа 350мм, вес модели не более 200кг.

В конструкции модели должен быть обеспечен удобный подход к узлам подвески при монтаже модели на подвесных устройствах трубы. Для заведения носовой (хвостовой) ленты в узел подвески носовая (хвостовая) часть модели выполняется съёмной (Рис. 2).

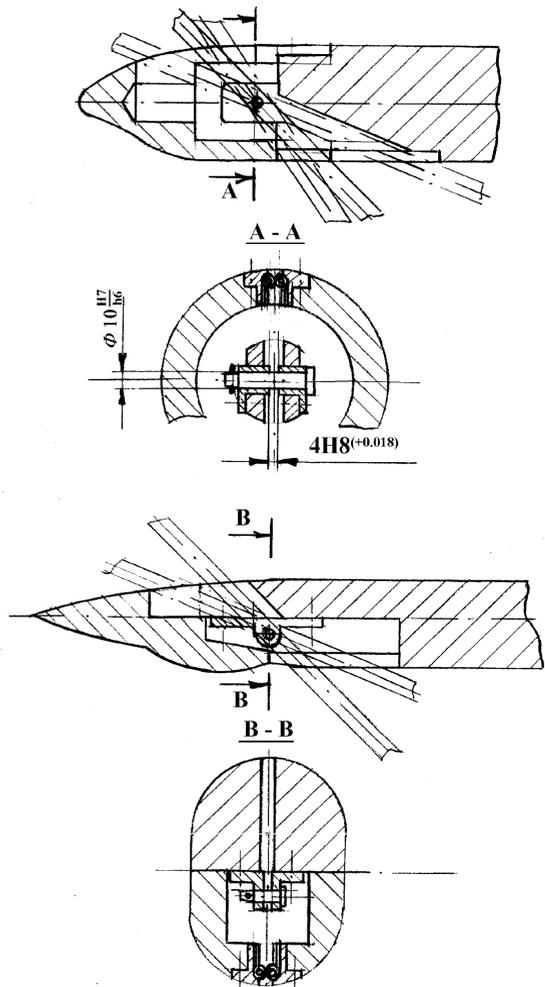


Рис.2

При наличии выступающего фонаря кабины, носовая лента не должна находиться перед ним.

Если узлы поперечной базы находятся в фюзеляже (Рис. 3), то для подхода к ним должны быть съёмные боковые крышки. В фюзеляже выполняются прорези для свободного хода лент в необходимом диапазоне углов атаки.

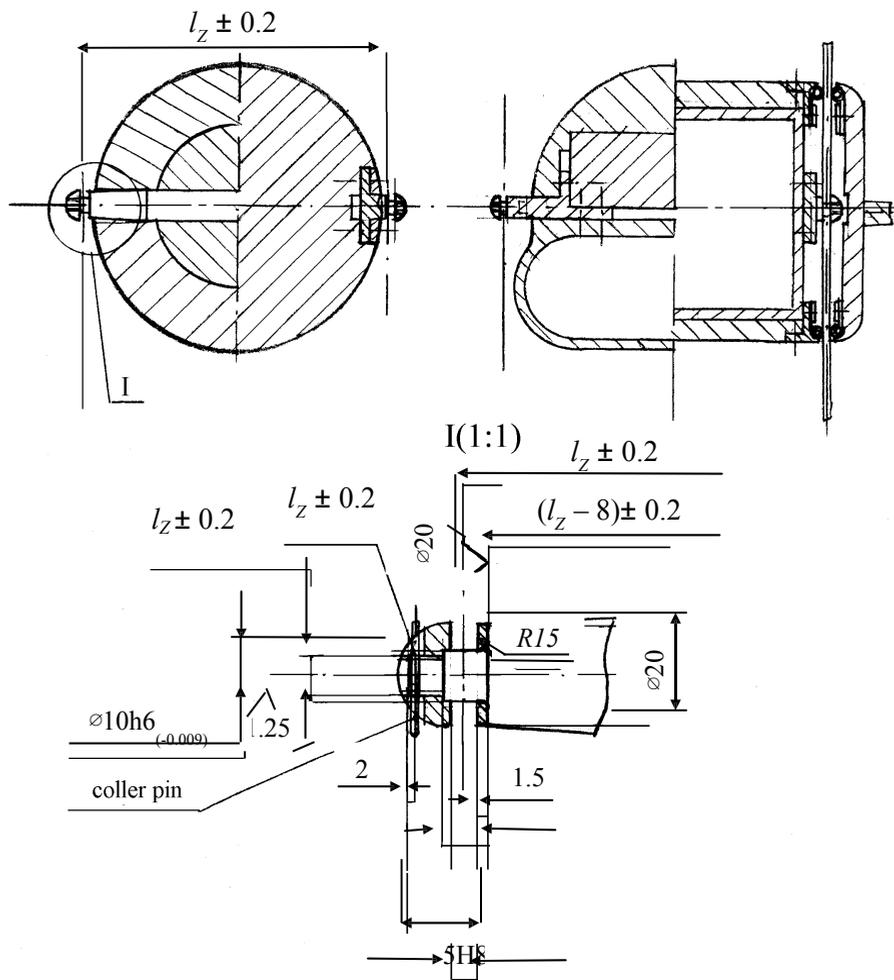


Рис. 3

Прорези для прохода лент через фюзеляж должны быть загерметизированы резиновыми уплотнениями (Рис.2, 3). Узлы подвески на модели komponуются так, чтобы стреловидные ленты поперечной базы не пересекались с крылом, горизонтальным оперением, хвостовыми мотогондолами. При этом нужно следить, чтобы ожидаемая нагрузка на носовую ленту не превышала 750кг.

Поперечная база должна быть удвоенной для введения методических поправок (Рис. 4).

Обычно удвоенная база выполняется на крыле с помощью специальных кронштейнов и должна быть строго соосна основной поперечной базе.

При проектировании модели выдерживается геометрическое подобие по основным частям натурального самолёта. Мелкие детали (антенны, замки подвесок и т.п.) на модели не выполняются.

Конструкция модели должна обеспечивать 4-х кратный запас прочности. Жёсткость должна быть такой, чтобы крутка крыла под действием аэродинамических сил не превышала 0.25° . Погрешность в угле атаки из-за изгиба фюзеляжа не должна превышать 0.1° . Жёсткость тонких элементов: закрылков, горизонтального оперения и т.п., выбирается из условия, чтобы прогибы от ожидаемой нагрузки не превышали 1мм.

Крыло модели изготавливается цельнометаллическим или в виде металлического сердечника с нанесённым специальным покрытием.

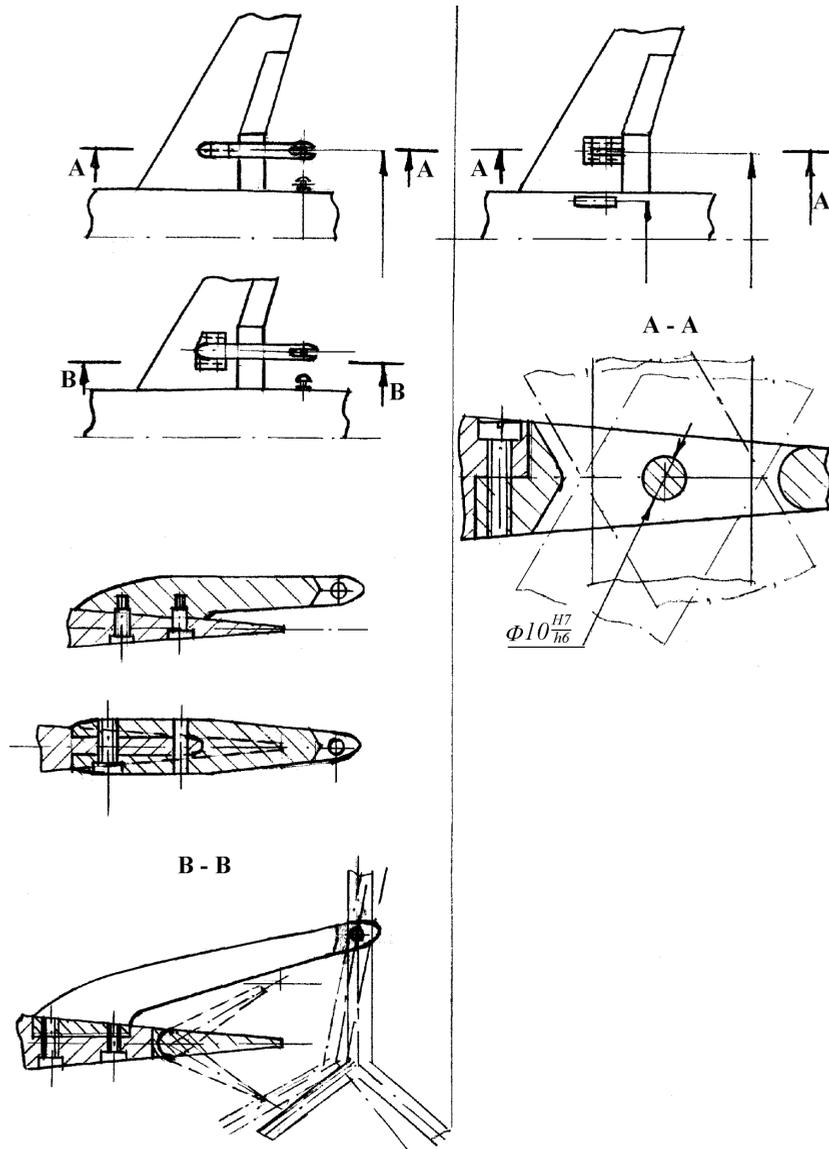


Рис. 4

Все отклоняемые элементы - предкрылки, носки, закрылки, элероны, рули фиксируются при помощи сменных жёстких кронштейнов (Рис. 5), выполненных для каждого угла отклонения. Резьба должна выполняться только в фиксаторах. Количество крепёжных деталей должно быть минимально необходимым. Фиксация отклоняемых органов управления должна быть надёжной и без люфтов. Подход к крепёжным деталям должен быть легко доступным. Крепление сменных деталей винтами предпочтительнее производить с нижней поверхности модели. Многоцелевые закрылки целесообразно крепить с помощью жёстких кронштейнов, а звенья закрылков монтировать в единые блоки с точным соблюдением значений заданных углов заклинения и выдвижения каждого звена и конфигурации щелей.

Стык крыла с фюзеляжем конструктивно может быть различным в зависимости от аэродинамической схемы модели (Рис. 6). Крыло должно устанавливаться на фюзеляже с жёсткой фиксацией штифтами во избежание изменения положения при перестановках.

Фюзеляж модели выполняется цельнометаллическим или металлический сердечник с наполнителем. Наполнитель должен быть устойчив к механическим повреждениям, вибрациям, к резким изменениям температуры до 70°. Носик фюзеляжа должен быть металлическим. Для восстановления поверхности модели после съема

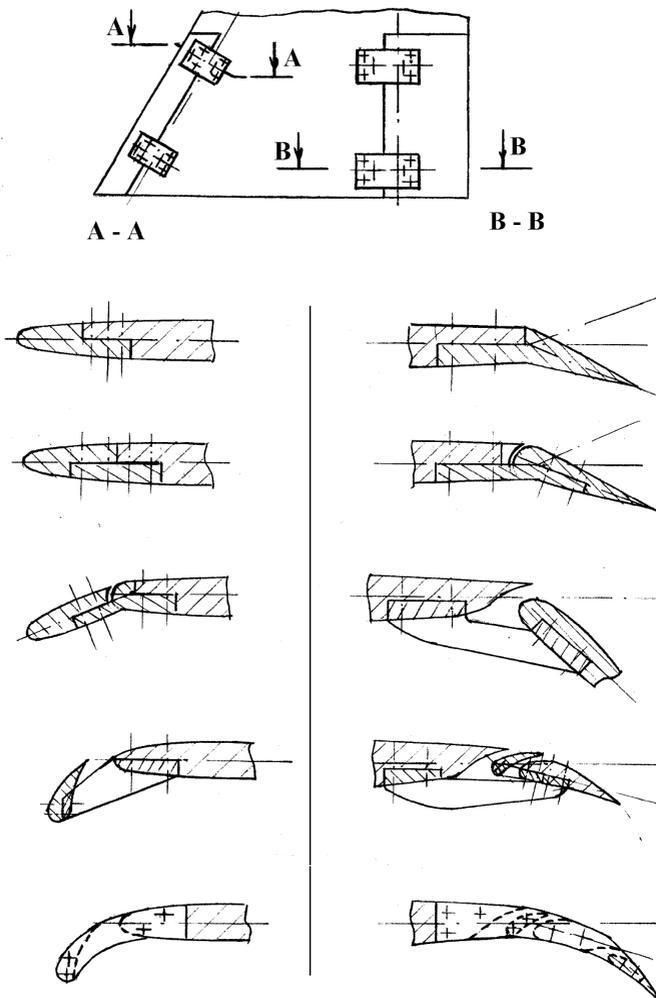


Рис. 5

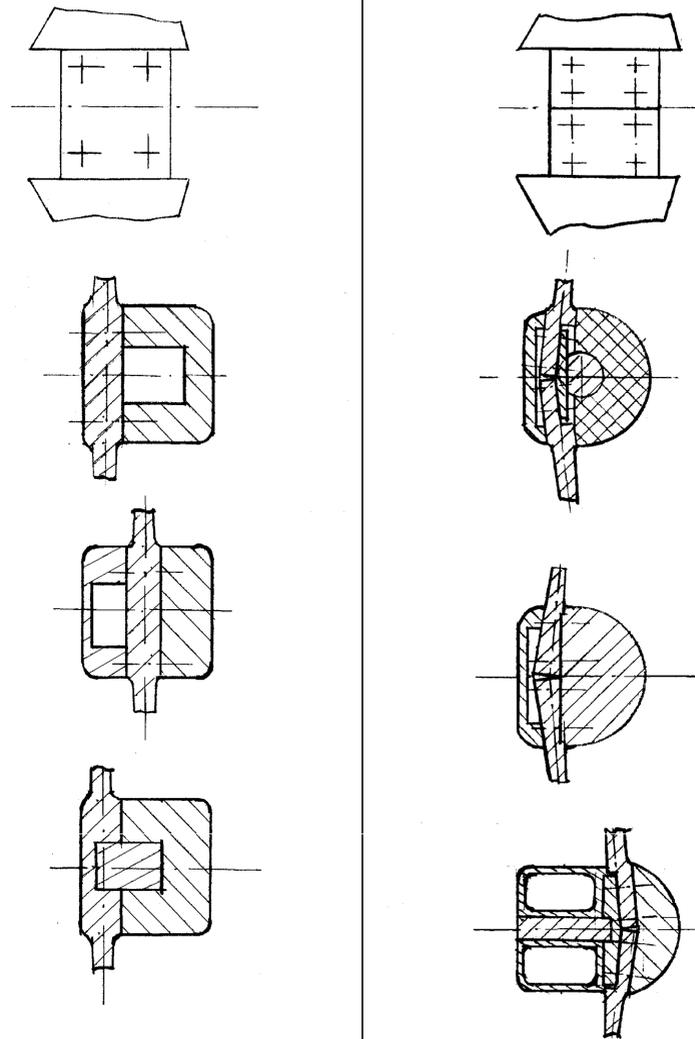


Рис. 6

В трубе Т-106 можно проводить испытания с имитацией реактивных струй двигателей. Реактивные струи моделируются холодным сжатым воздухом. Имеется система подвода сжатого воздуха давлением 6 атм., обеспечивающая расход воздуха до 5 кг/сек. Подвод воздуха к модели осуществляется через подфюзеляжную стреловидную профилированную стойку (Рис. 7). Ось поворота стойки совпадает с осью подвески. При этих испытаниях используется продольная база $L_x = 350\text{мм}$ с хвостовой лентой. В фюзеляже должен быть выполнен ресивер, к которому подсоединяется подводящая стойка. К ресиверу, сгонке и разводящей системе предъявляются специальные требования, как к сосудам, работающим под давлением. Необходимо производить их гидроиспытания давлением 14.5атм. Подвод сжатого воздуха к подкрыльным мотогондолам осуществляется по герметичным каналам в крыльях и пилонах. Для измерения эпюры полных давлений на срезе сопла выполняется гребёнка насадков.

Для проведения испытаний и на распределение давления по поверхности модели фрезеруются канавки, в которые укладываются трубки из нержавеющей стали, запаянные с одной стороны. Паза с трубками заливаются специальной пастой, поверхность модели полируется. В измеряемых сечениях сверлятся приёмные отверстия $0.35 \div 0.5\text{мм}$ перпендикулярно к поверхности модели. Трассы выводятся в фюзеляж и соединяются с датчиками давления. Трубки перед укладкой продуваются сжатым воздухом, а после укладки промывают спиртом, продувают и проверяют на герметичность. На трубках должны быть бирки с нанесёнными номерами дренажных точек.

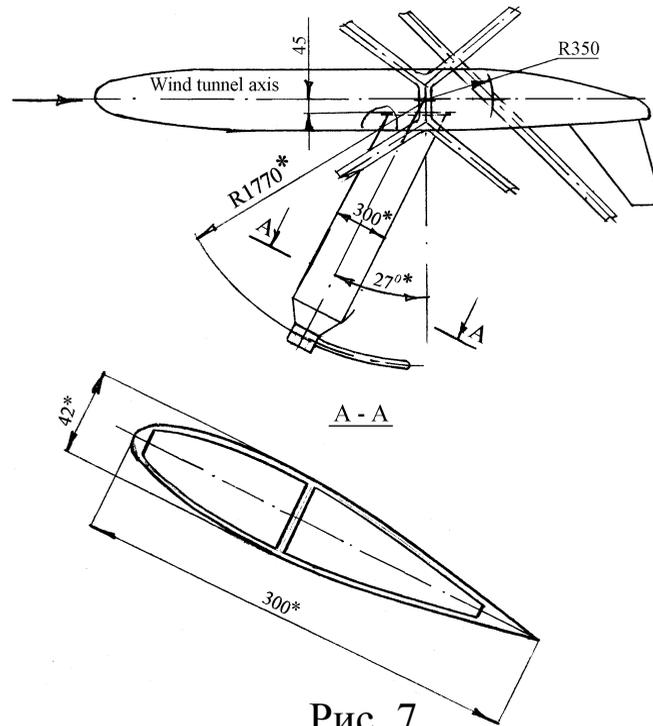


Рис. 7

Для установки датчиков давления и прокладки проводов и трубок контрольного давления в фюзеляже выполняется полость, закрываемая крышкой для удобства доступа. В Т-106 проводятся также исследования профилей крыльев. Для этого изготавливаются модели изолированных крыльев (Рис. 8). Передняя и задняя крыла выполняются металлическими, сердечник также. На крыле устанавливаются кронштейны для подвески на узлах поперечной и продольной баз трубы. **Требования к поверхности модели.** Модель должна быть отполирована. Поверхность должна быть аэродинамически гладкой. На модели до полировки должны быть нанесены все необходимые риски: контрольных сечений (для установки контрольных шаблонов), строительной горизонтали фюзеляжа и плоскости симметрии. На шаблонах крыла и оперения должны быть метки: название детали, номер сечения, длина хорды и расстояние от плоскости симметрии модели. Шаблоны должны устанавливаться на модели однозначно.

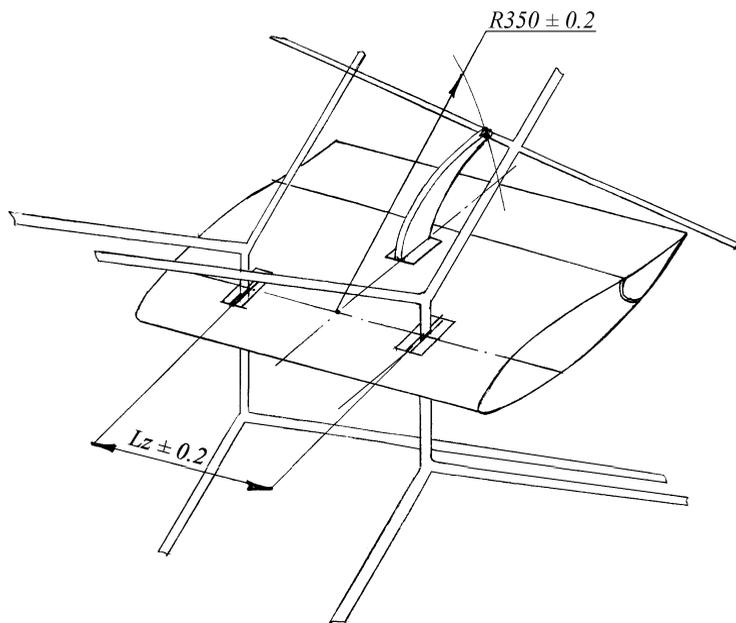


Рис. 8

С моделью должны поставляться: конструкторская документация (комплект чертежей), теоретический чертёж со всеми привязочными размерами и таблицей основных геометрических параметров модели, описание порядка сборки и разборки узлов, которые перемонтируются при испытаниях, расчёт на прочность основных силовых элементов и органов управления.

Для испытания со струями представляется акт о контрольных гидроиспытаниях на герметичность и прочность системы развода воздуха.

Для дренированных моделей представляется схема дренажа с маркировкой дренажных точек.

Модель поставляется в твёрдой упаковке. Острые кромки деталей должны иметь специальную окантовку в виде съёмных чехлов.

Вместе с моделью поставляются контрольные шаблоны, сменные детали, нестандартные инструменты, комплект запасного крепежа.

Аэродинамические трубы Т-102 и Т-103.

Проектирование начинается с анализа технического задания на проектирование модели, где должно быть указано:

- Цель испытаний, количество вариантов компоновок и дана самая подробная информация по теоретическим обводам фюзеляжа, крыла, хвостового оперения, а также по обводам элементов механизации крыла и оперения.
- Диапазоны углов атаки модели " α ", углов скольжения " β " и углов отклонения органов управления и механизации крыла.
- Нагрузки X , Y , Z , M_x , M_y , M_z , на всю модель и на её основные части. Должны быть указаны и координаты центров приложения нагрузок.

Определение положения модели относительно подвесных устройств весов АВТ-102.

Согласно техническим условиям трубы Т-102 и Т-103 модель не должна быть больше указанных в ТУ размеров:

Размах крыла	2.5 м.
Габаритная длина	2.5 м
Диаметр фюзеляжа	0,4 м
Вес модели не более	180 кг.

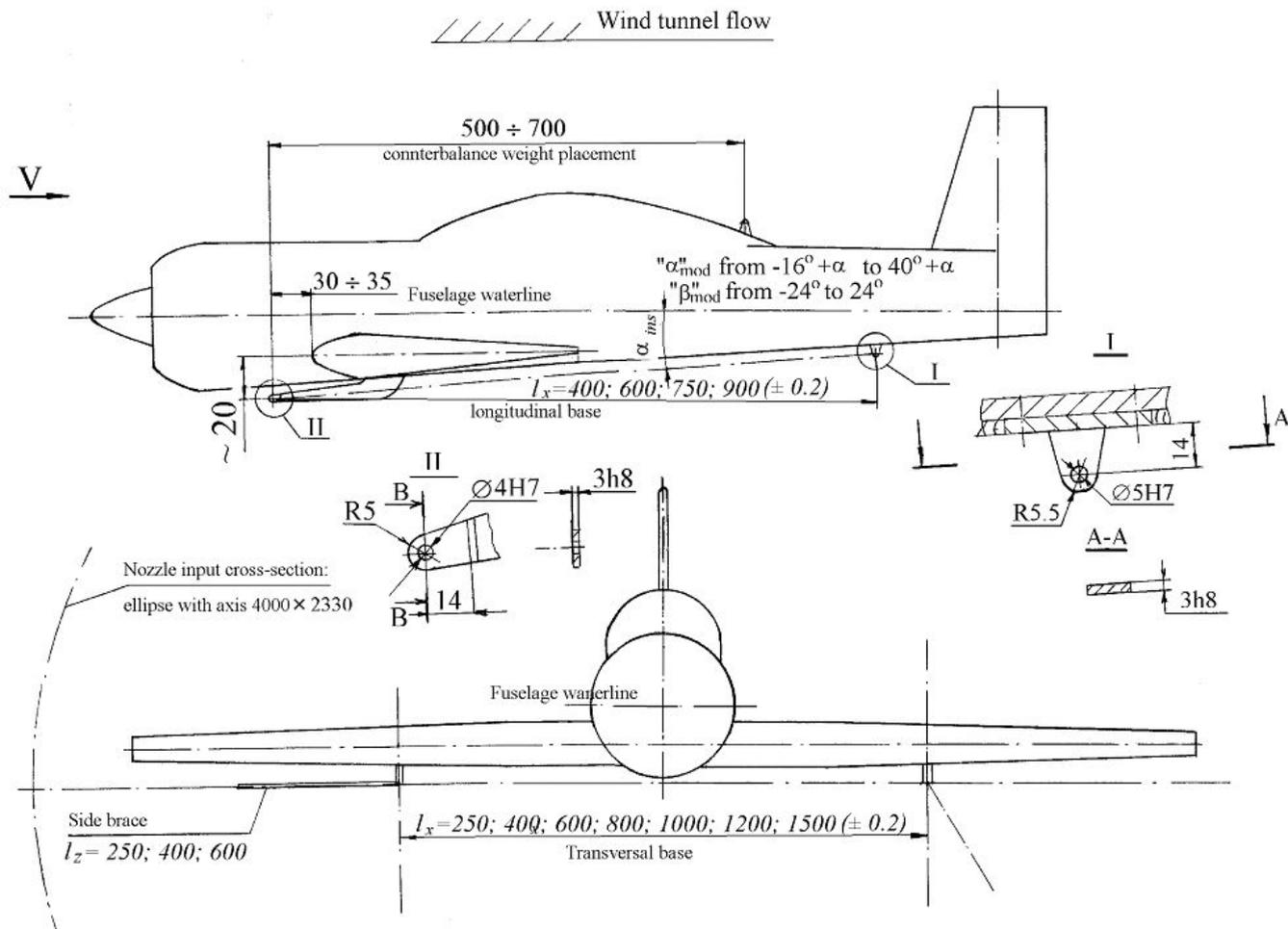
Для моделей, испытания которых ведутся при углах атаки " α " близким к 90° , длина и площадь плановой проекции не должны быть больше соответственно 1.7 м и 0.5 м^2 .

Особенностью трубы Т-102 является крепление модели к весам АВТ-102 в перевернутом положении в трех точках (две точки впереди и одна задняя).

Изменение угла атаки модели производится вращением относительно оси проходящей через передние узлы подвески.

Диапазон изменения углов атаки моделей от -16° до 40° при условии, что установочный угол $\alpha_{уст} = 0$ ($\alpha_{уст}$ - угол образуемый между продольной базой и контрольной хордой крыла). Соответствующим смещением между собой узлов крепления баз весов АВ-102 к модели можно изменить $\alpha_{уст}$ и сдвинуть диапазон углов атаки в ту или другую сторону. Начальное натяжение подвески осуществляется при помощи контр грузов. Для крепления тяги заднего контр груза подвески на модели устанавливается

симметрии модели на расстоянии 500÷700 мм от передних узлов подвески (см. рис. 9). Кроме того, надо



соблюдать условие: нагрузка на задний узел подвески не должна быть меньше 50÷250 кг.

Рис. 9

Максимальные нагрузки, которые можно измерить на весах АВ-102:

- сила лобового сопротивления X от -10 до 150 кг
- подъемная сила Y от -100 до 500 кг
- боковая сила Z от -80 до 80 кг

Пределы измерения моментов M_x и M_y зависят от поперечной базы:

- M_x от ± 9 до ± 50 кгм
- M_y от ± 5 до ± 30 кгм.

Весы АВ-102 имеют ограниченный набор поперечных и продольных баз

- Поперечные $l_z = 0.4; 0.6; 0.8; 1.0; 1.2; 1.5$ м
- Продольные $l_x = 0.4; 0.6; 0.75; 0.9$ м

Предпочтение следует отдавать большим размерам баз, особенно при испытаниях по углам скольжения " β " или при испытаниях на круговую обдувку.

Проектирование конструкции фюзеляжа, крыла и оперения.

В целях облегчения веса модели и экономии средств и времени на обработку профилированных поверхностей модели для испытаний в Т-102, Т-103 изготавливают из металлического сердечника (обычно Д16Т), покрытого деревом или твердым пенопластом. Формы сердечника фюзеляжа показаны на рисунке 10.

На сердечнике в соответствующих местах выполняются посадочные места для крепления крыла, хвостового оперения и различных кронштейнов.

При испытании изолированного фюзеляжа или отсека хвостового оперения на модель устанавливается цилиндрическая штанга в качестве поперечной базы подвески,

Размеры и требования к изготовлению её указаны в ТУ

Крыло изготавливается смешанной или цельнометаллической конструкции. В смешанной конструкции консолей крыла применяется сердечник в виде пластины из Д16Т, размещенной в плоскости хорд. При необходимости, для увеличения жесткости и прочности, сердечник усиливается стальной накладкой, которая крепится по линии 25% хорд крыла. Собранный таким образом сердечник обклеивается березовой фанерой с двух сторон и обрабатывается по шаблонам. Две консоли (правая и левая) объединяются в единый узел стальным центропланом.

Конструкция фюзеляжа

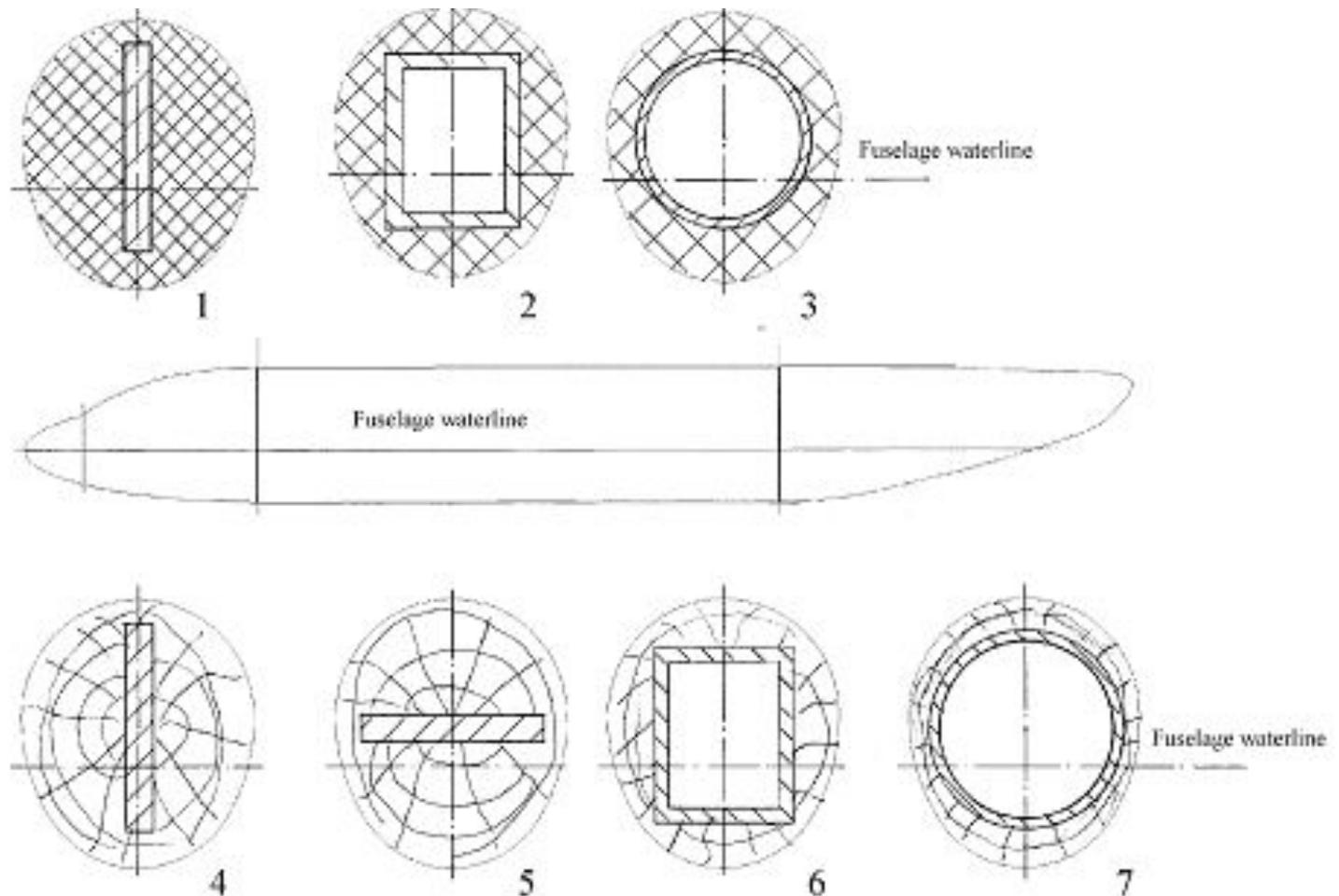


Рис. 10

К сердечнику крыла крепятся державки поперечной базы и кронштейны механизации. Наиболее часто для навески и фиксации элементов механизации применяются зажимные фиксаторы рис.11. Момент трения, создаваемый фиксатором должен быть в три раза больше максимального шарнирного момента от аэродинамических сил.

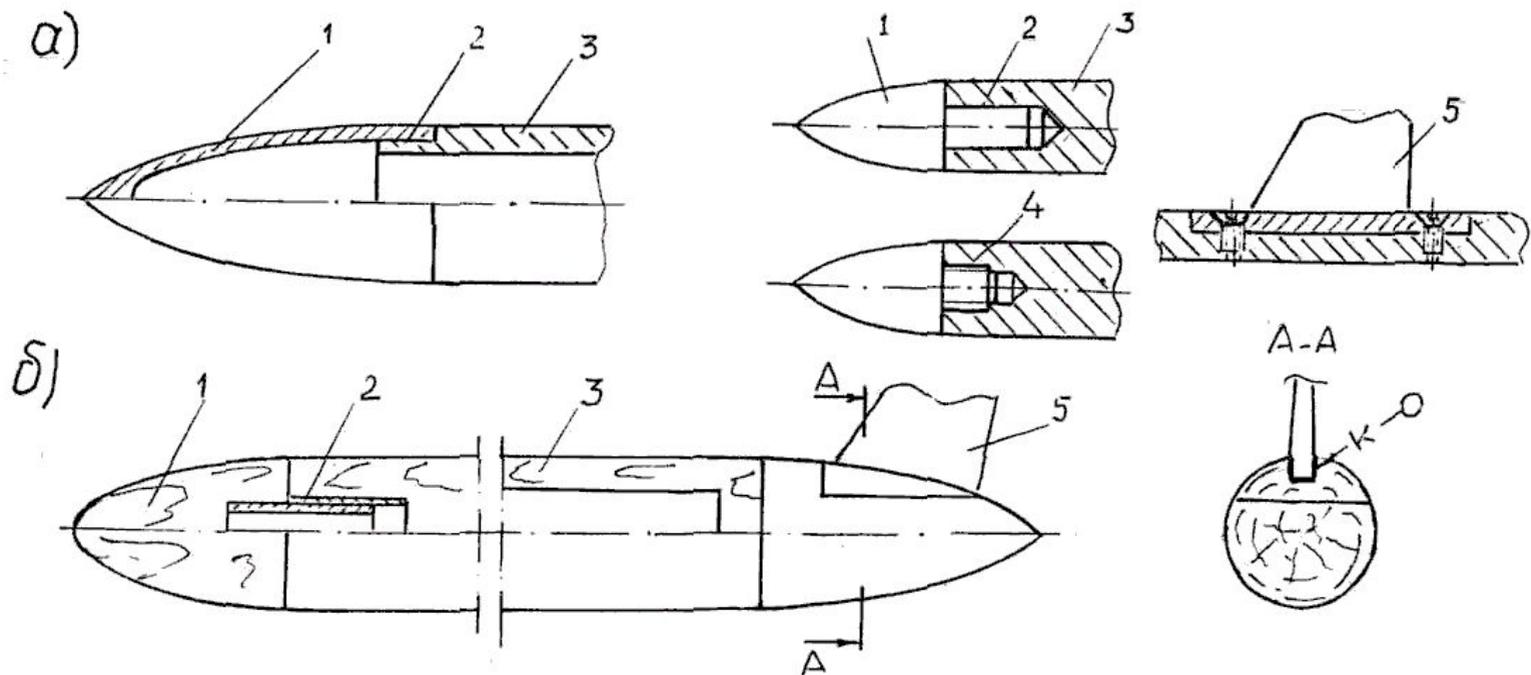


Рис. 11. Элементы конструкции фюзеляжа: 1 - носовая часть; 2 - соединение носовой части с цилиндрической; 3 - цилиндрическая часть; 4-резьбовое соединение; 5 - вертикальное оперение.

Конструкция крыла

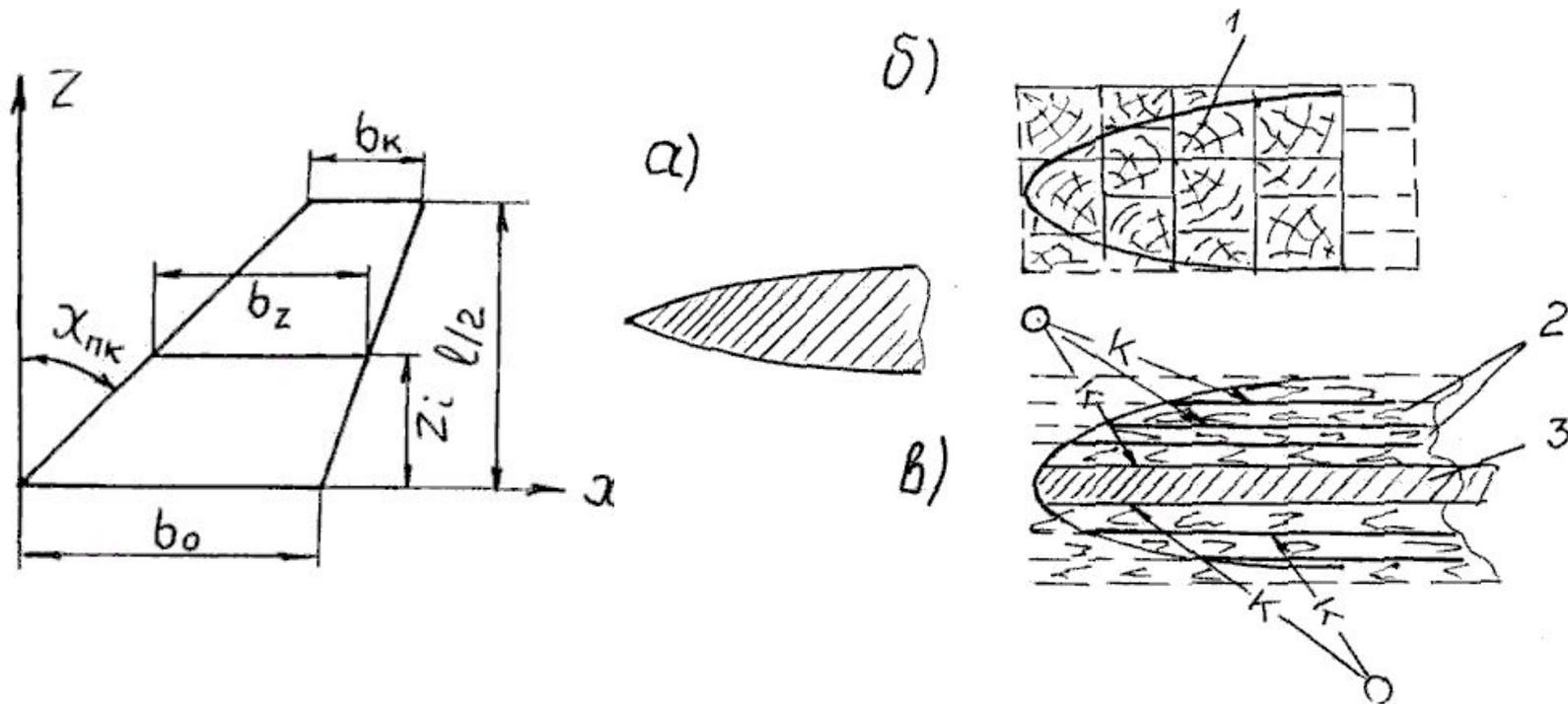


Рис. 12. Конструкции крыла: а - цельнометаллическая; б - цельнодеревянная; в- смешанная; 1- деревянные бруски; 2-фанерная переклейка; 3 - металлический сердечник.

Конструкция органов управления

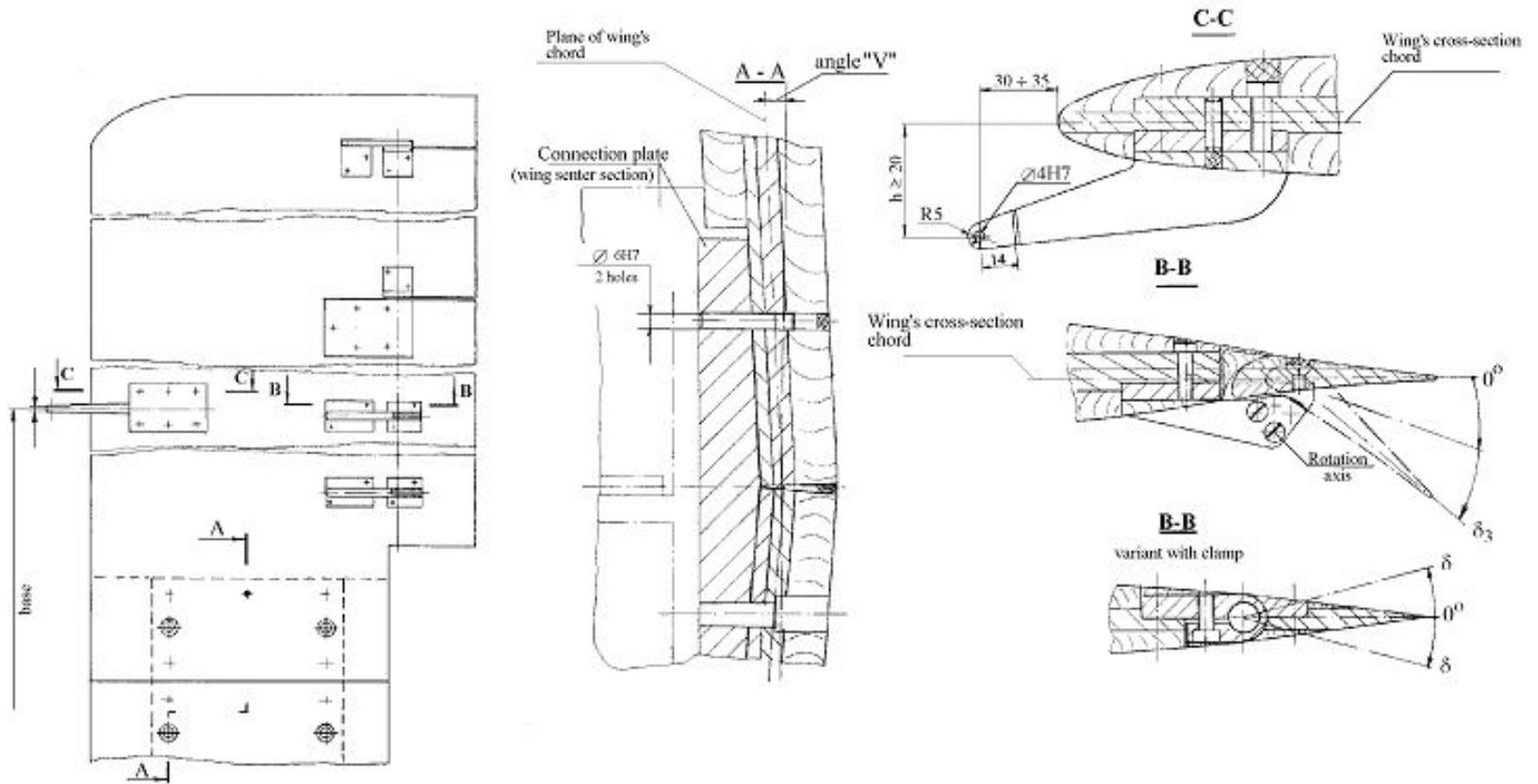


Рис. 13

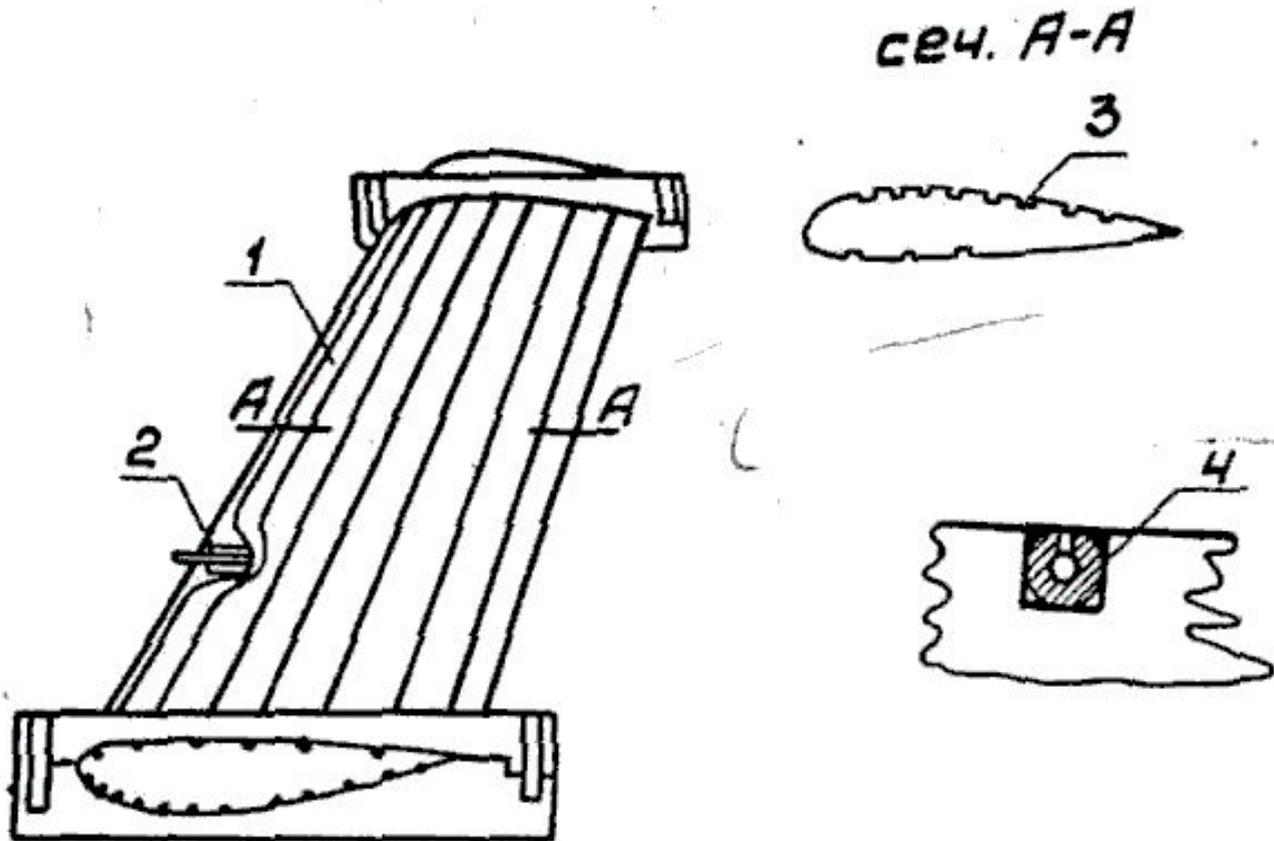


Рис. 14 Дренированная модель: 1 - крыло; 2 -
державка;
3 - канавки; 4 - трубки.

Установка и контроль элементов механизации производится с помощью лимбов или других приспособлений для измерения угла с точностью 0.1° . Щелевые закрывки крепятся к основной части крыла на жестких кронштейнах, изготовленных для каждого угла и размера щели индивидуально.

Конструкция хвостового оперения аналогична конструкции крыла. Если требуется измерение шарнирного момента на рулях хвостового оперения с помощью готовых тензочувствительных весов, то необходимо выполнить следующие условия:

- **отсутствие трения в опорах руля и сохранение зазоров между основной конструкцией и рулем во всем диапазоне углов отклонения и при всех нагрузках;**
- **удобство подхода и отвода проводов от тензочувствительных весов к подвеске;**
- **фиксация тензочувствительных весов к модели должна быть жесткой и надежной;**
- **тензочувствительные веса должны быть закрыты крышкой от воздействия потока.**

Все вопросы по проектированию, изготовлению, тарировке и эксплуатации тензочувствительных весов при испытании модели должны быть согласованы.

В Т-102 иногда проводятся испытания профилей на прямоугольных изолированных крыльях с механизацией по всему размаху. Обычно хорда крыла равна 300-400 мм. Размах 1500 мм. Продольная база принимается $l_x=600$ мм. В этом случае задняя державка должна иметь узел присоединения к подвеске и к контргрузу одновременно. Механизация крыла выполняется как единая балка на четырех опорах.

Конструкция моделей для Т-103.

Конструкция моделей для Т-103 аналогична конструкции моделей для Т-102 с той лишь разницей, что размеры передних присоединительных узлов к подвеске другие, они приведены в ТУ Т-103. Следует учитывать, что весы АВ-103 имеют боковые растяжки для восприятия силы Z , которые нагружают передние державки модели силой $50 \div 100$ кг (начальное натяжение). Для всех моделей, испытания которых производится при скоростях потока $V > 50$ м/сек требуется произвести расчет на прочность основных силовых элементов конструкции модели. Допускаемый запас

Аэродинамическая труба Т-105 ЦАГИ

Прибор для статических испытаний моделей в широком диапазоне углов атаки и скольжения



При разработке математических моделей полёта самолёта на больших углах атаки и на режимах штопора необходимо знать аэродинамические характеристики самолёта в широком диапазоне углов атаки и скольжения.

Определение аэродинамических характеристик моделей самолётов в диапазонах углов атаки $\alpha = \pm 180^\circ$ и углов скольжения $\beta = \pm 180^\circ$ в статических условиях производится на Прибор приборе Ш-4. Ш-4 закрепляется на ферме, которая устанавливается на раме. На раме универсальной имеются две вертикальные направляющие стойки, по которым ферма с прибором Ш-4 может перемещаться по высоте. Высота расположения модели изменяется с помощью ручной лебедки. Для изменения углов атаки и скольжения применены червячные механизмы, которые имеют электрический привод и электрическую систему дистанционного управления.

Аэродинамические силы и моменты, действующие на модель, измеряются шестикомпонентными тензометрическими весами. Тензометрические весы модели расположены внутри и измеряют аэродинамические нагрузки в системе с моделью. координат связанной Аэродинамические нагрузки определяются по результатам двух испытаний. Сначала, в заданных программой диапазонах углов атаки и скольжения без потока в аэродинамической трубе, весами измеряются силы и моменты от веса модели. Затем испытания повторяются с заданной скоростью воздушного потока в аэродинамической трубе. Аэродинамические нагрузки получают, вычитая из результатов испытаний с потоком результаты испытаний без потока.

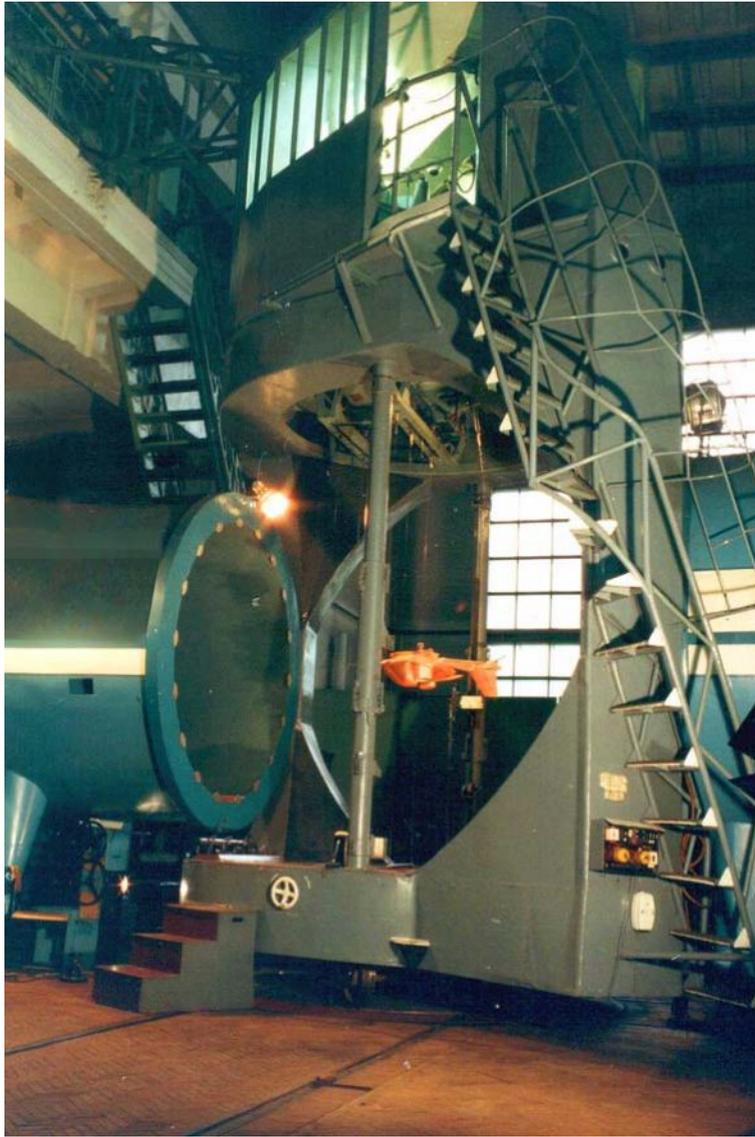
Аэродинамическая труба Т-1 МАИ

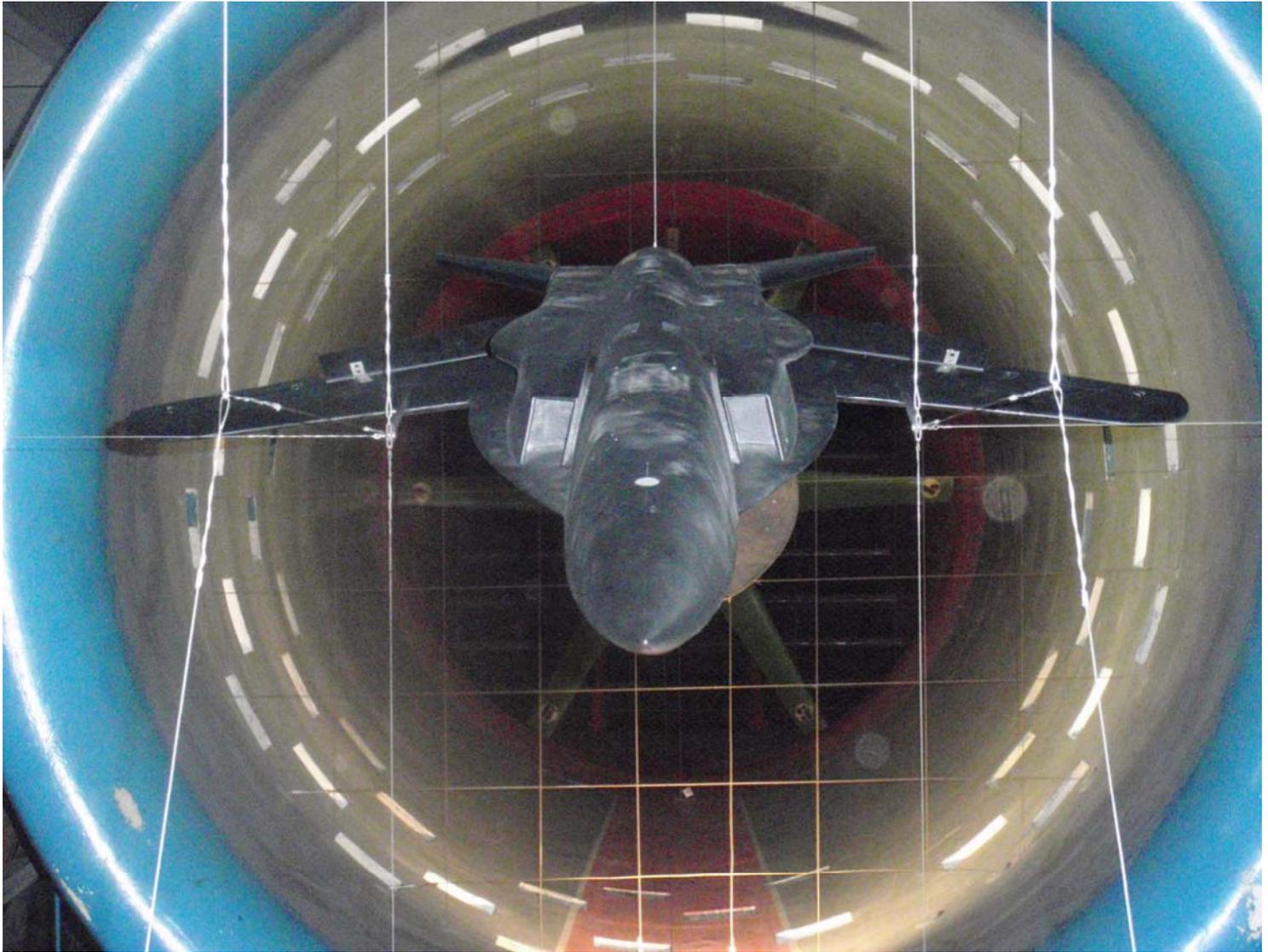
Аэродинамическая труба Т-1 МАИ - труба замкнутого типа с обратным каналом, расположенным в вертикальной плоскости, с открытой рабочей частью. Выходное сечение сопла имеет форму круга с диаметром в 2,25 м и длиной рабочей части в 3,4 м.

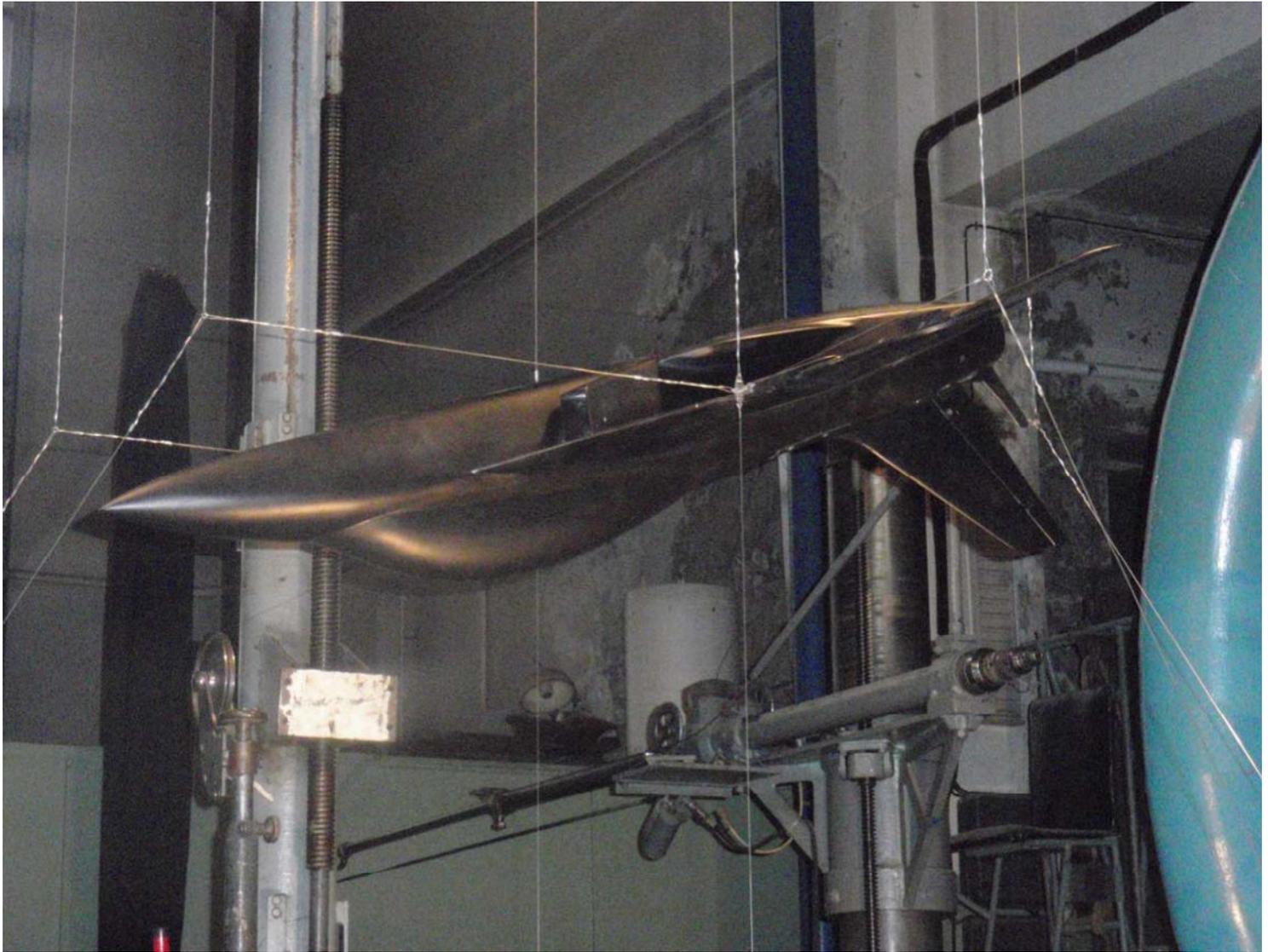
Поток воздуха в трубе создается шестилопастным вентилятором, который приводится в движение электродвигателем постоянного тока мощностью в 310 кВт. Скорость потока может плавно изменяться от 5 до 50 м/сек. Рабочая скорость при испытаниях 10 ... 47 м/сек.

Испытания проводимые в аэродинамической трубе Т-1 МАИ, обеспечены наличием экспериментального и измерительного оборудования, описание его дается вместе с описанием соответствующих видов эксперимента.

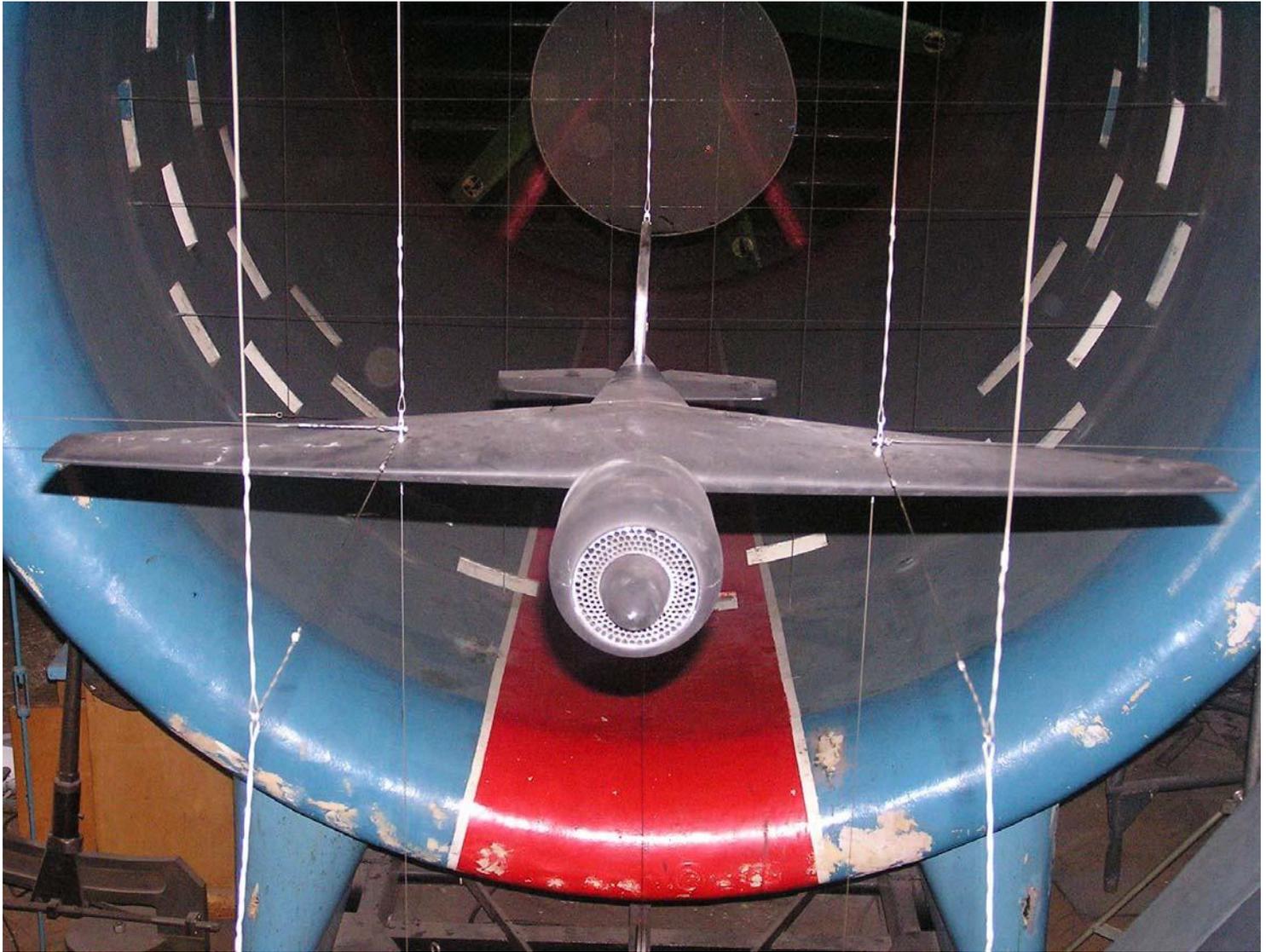
Испытания на механических весах 6КТ-1. Шестикомпонентные механические весы 6КТ-1 с автоматическими весовыми элементами смонтированы на платформе, которая поддерживается на двух колоннах передвижной тележки. На рис... и рис. ... показана рама весов 6КТ-1 в двух проекциях с подвесными устройствами. Усилия, воспринимаемые элементами подвесного устройства, передаются через рычажную систему весов к автоматическим весовым элементам. Весы имеют ниточное (проволочное) подвесное устройство, обеспечивающее крепление модели с помощью шарнирных соединений в трех











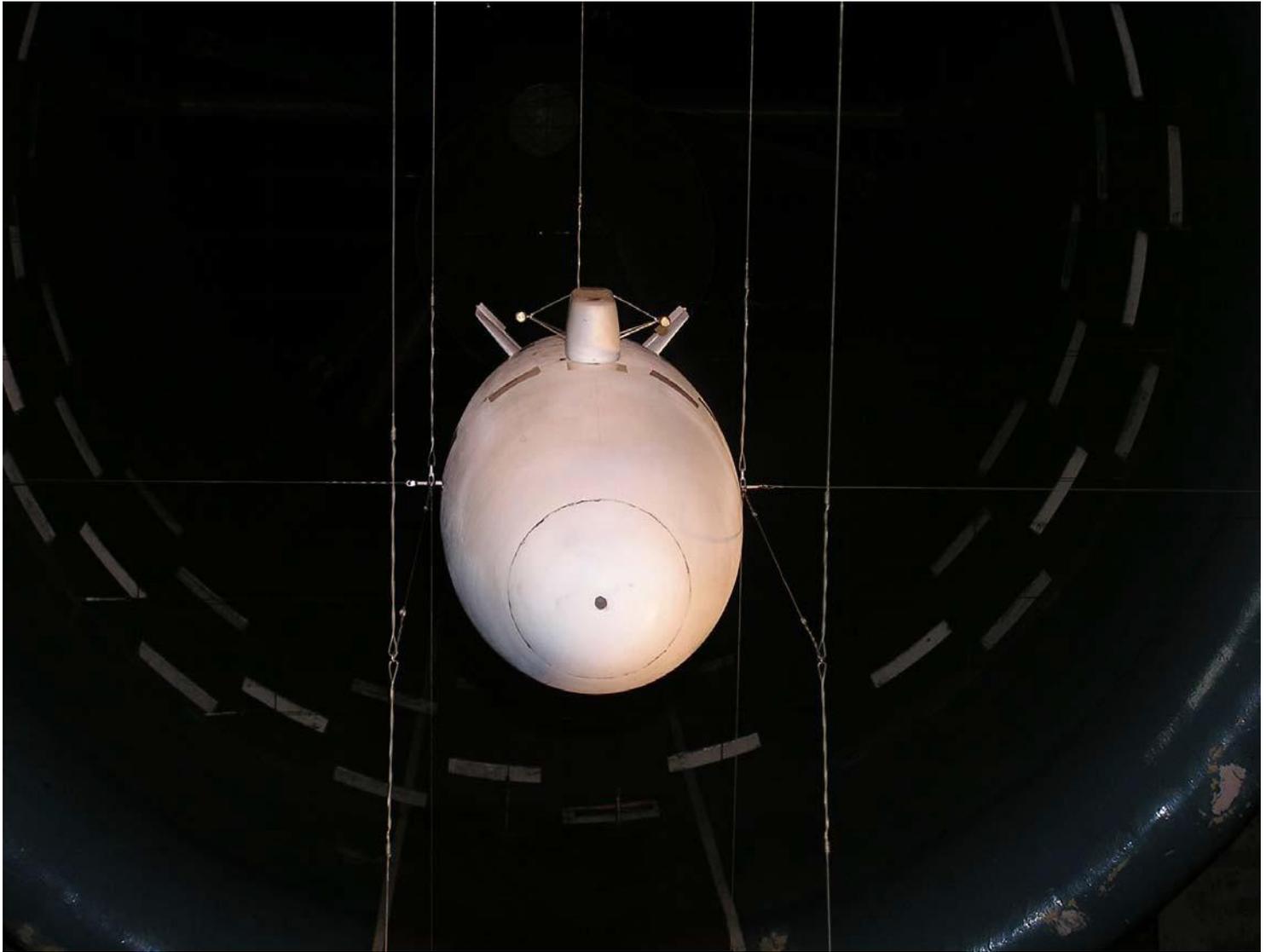
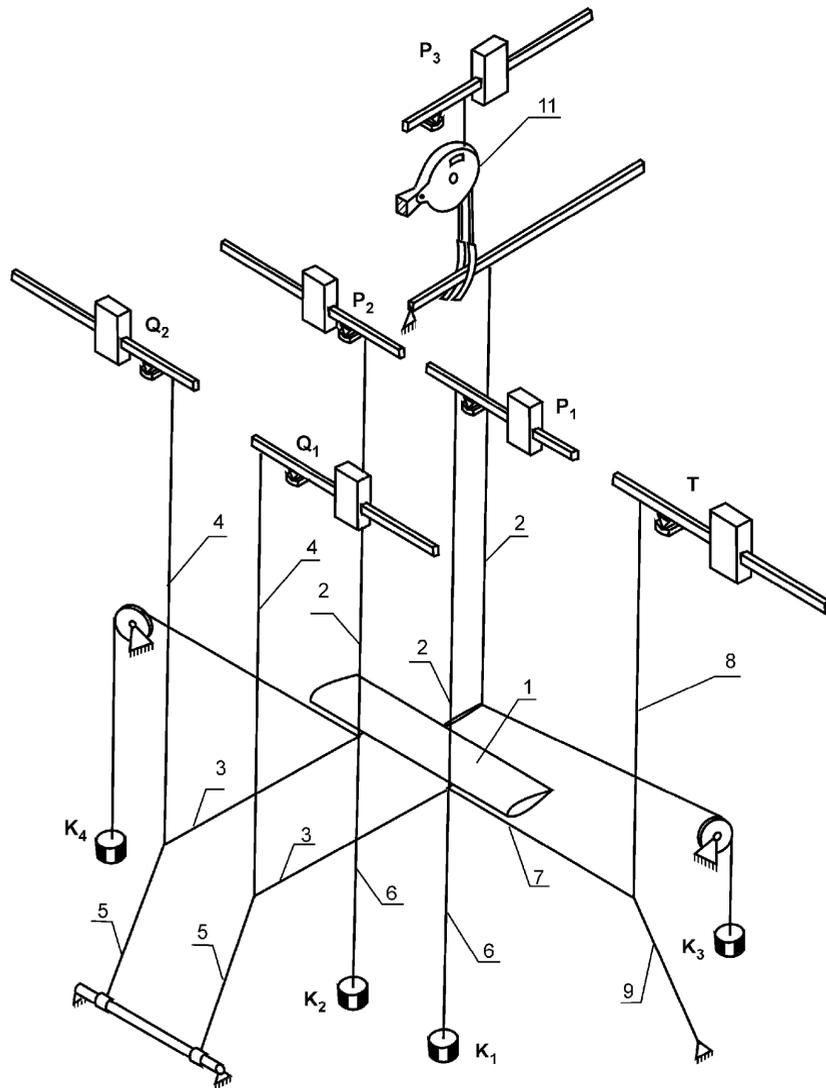


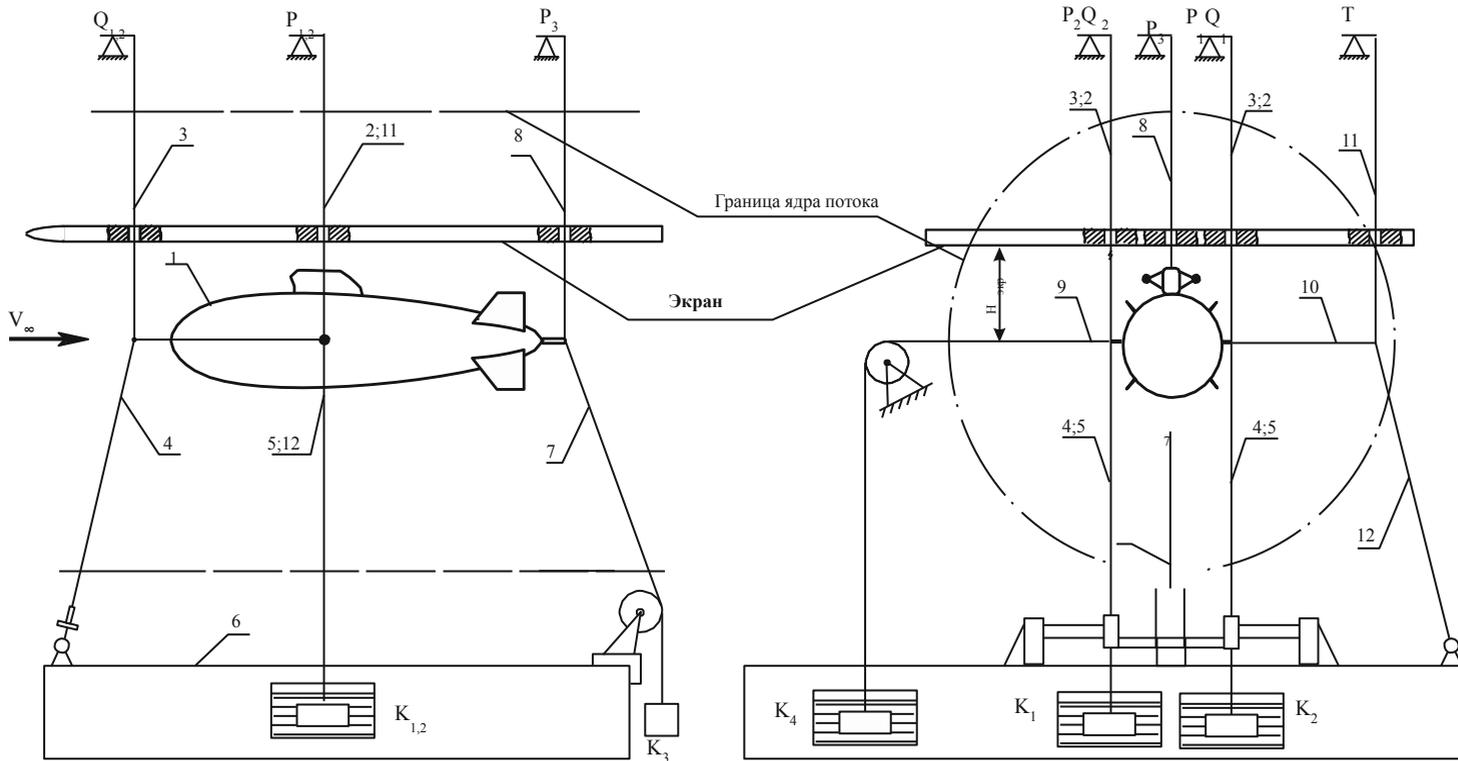
Схема установки модели КММ на двухпанельной подвеске весов БКТ-1



- | | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| 1. Модель | 5. Наклонные тяги $Q_{1,2}$ | 9. Наклонная тяга Т |
| 2. Тяги $P_{1,2,3}$ | 6. Тяги контргрузов $K_{1,2,3,4}$ | 10. α - механизм |
| 3. Горизонтальные тяги $Q_{1,2}$ | 7. Горизонтальная тяга Т | |
| 4. Вертикальные тяги $Q_{1,2}$ | 8. Вертикальная тяга Т | |

Рис. 1

Схема установки модели 895 на двухпанельной подвеске весов БКТ-1 .



- | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------|
| 1. Модель. | 4. Наклонные тяги $Q_{1,2}$. | 7. Тяга контргруза K_3 . | 10. Горизонтальная тяга T . | 11. |
| 2. Тяга $P_{1,2}$. | 5. Тяга контргруза $K_{1,2}$. | 8. Тяга P_3 . | 11. Вертикальная тяга T . | 12. Наклонная |
| 3. Вертикальные тяги $Q_{1,2}$. | 6. Платформа весов. | 9. Тяга контргруза K_1 . | 12. Наклонная | тяга T . |

Рис 3

Модель подвешивается в перевернутом положении, что связано с конструктивно-силовой схемой подвески и весов. Точки крепления модели образуют равнобедренный треугольник, основанием которого является поперечная база, а высотой-продольная база.

Весы имеют следующие размеры баз: $l_{\text{поп}} = 0,9$ м через 1 мм,

$l_{\text{прод}} = 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,65; 0,7; 0,75; 0,8$ м.

Выбор баз для крепления модели определяется ее конструкцией, требованием наименьших деформаций ее элементов в потоке, а также требованием, чтобы все элементы модели не выходили из ядра потока при заданном диапазоне углов атаки. Начальное натяжение подвески осуществляется при помощи контргрузов (см. схему подвески рис.... и рис...).

Изменение углов атаки модели достигается вращением ее относительно оси, проходящей через передние узлы, путем перемещения заднего узла подвески. Диапазон изменения углов атаки модели от -19° до 38° при установочном угле

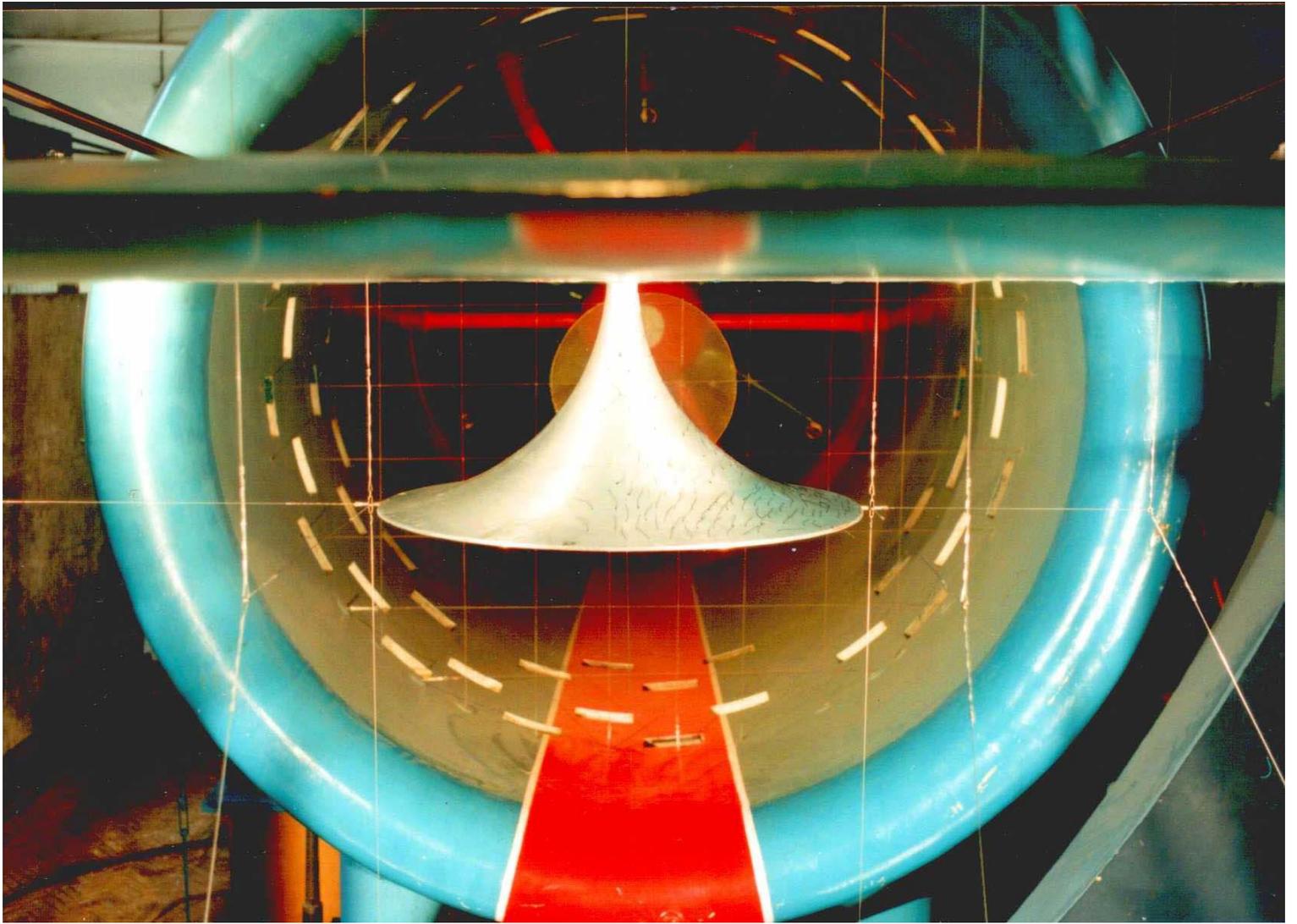
$\alpha_{\text{уст}} = 0^\circ$ (-угол, образуемый продольной базой модели и ее строительной горизонталью (продольной осью)). Изменение углов скольжения модели обеспечивается поворотом всей рамы весов в пределах от -3° до 40° на поворотном круге трубы.

Максимальные аэродинамические нагрузки, которые можно измерять на весах 6КТ-1, следующие:

- сила лобового сопротивления от - 98,1 н до 196,2 н,
 - подъемная сила от -196,2 н до 588,6 н,
 - боковая сила от - 49,05 н до 147,15н.
- Пределы измерения моментов M_x и M_y зависят от поперечной базы .
- Момент M_z на весах 6КТ-1 непосредственно не измеряется, измеряется усилие P_3 по хвостовой тяге, что дает возможность вычислить момент относительно оси, проходящей через центры шарниров передних узлов подвески (M_{z0}). Пределы измерения P_3 от -10 до 20 кг (-98,1 н до 196,2 н).

Весы оснащены экраном для моделирования близости земли. Экран выполнен в виде пластины с размерами: длина 2,6 м, ширина 2,5 м, толщина 0,06 м. Передняя кромка экрана представляет собой дугу окружности радиуса $R = 1,46$ м. Перемещение экрана по высоте обеспечено механизмом привода в пределах от -0,35м до 0,95 м. вверх от узлов подвески с любым шагом.

В аэродинамической трубе Т-1 МАИ проводятся также испытания моделей с истечением струй старого воздуха, испытания на распределение давления, испытания на сбросы динамически подобных моделей, исследования скоса и торможения потока около модели, исследования спектров течения, измерение аэродинамических коэффициентов и шарнирных моментов с помощью тензовесов.



Размеры и вес модели.

- Площадь крыла 0,288 м²,
- Размах 1,2 м,
- Размеры моделей не должны превышать следующих величин:
- Габаритная длина модели 1,2 м,
- Диаметр фюзеляжа 0,12 м
- Эквивалентный диаметр моделей плохообтекаемых тел типа "Венера", "Марс" не более 0,5м.
- Для моделей тел вращения, испытания которых проводятся при углах атаки близких к 90°, длина и площадь плановой проекции не должна превышать соответственно 1,0 м и 0,2 м.
- Вес модели ограничивается возможностью двух экспериментаторов повесить модель на подвеску весов и не должен превышать 588,6 Н, а при установке модели на тензовесах - грузоподъемность тензовесов.

Прочность и жесткость моделей.

- Прочность элементов моделей определяется для расчетного значения скоростного напора 1,5 10 Па(150 кг/м²) при 3-х кратном запасе.
- Жесткость конструкции должна быть такой, чтобы крутка крыла под действием аэродинамических сил не превышала 0,25° Погрешность в углах атаки из-за изгиба фюзеляжа не должна превышать 0,1°
- Жесткость тонких элементов: горизонтального оперения, элеронов, рулей, закрылков и др. выбирается из условия, чтобы наибольшие прогибы под действием ожидаемой нагрузки не превышала 0,5 мм.

Конструкция моделей.

- Крыло, г.о., в.о., изготавливаются смешанной или цельнометаллической конструкции. В случае смешанной конструкции крыло изготавливается из фанерной переклейки с обязательным применением металлического сердечника толщиной 3-6 мм.
- В целях облегчения общего веса моделей фюзеляжа, gondoly двигателей и т.п. следует изготавливать пустотелыми из простых сортов древесины (сосна, ольха, липа и др.), а также из твердого пенопласта и магниевых сплавов. Во всех случаях, поверхность модели должна иметь твердость 20-30 по Брюнеллю. Толщина стенок пустотелого фюзеляжа должна быть порядка 30-35 мм., в месте крепления задней державки толщина оболочки должна быть увеличена до 40-50 мм., для чего внутри фюзеляжа (снизу или сверху можно вклеить бобышки из твердого дерева).
- Все съемные элементы модели, как правило, выполняются металлическими.

Съемные элементы моделей.

- Все перестановки на модели должны осуществляться непосредственно в трубе без съема модели с подвески весов.
- Монтаж и демонтаж съемных деталей и органов управления должен выполняться просто и с минимальными затратами времени. Подход к головкам зажимных и крепежных деталей должен быть доступен.
- У съемных деталей винты делать невыпадающими.
- Крепление съемных деталей винтами производить с нижней поверхности модели, винты должны быть стандартными.

Обработка поверхности модели.

- Модель должна быть тщательно отполирована. Поверхность крыла модели должна быть аэродинамически гладкой.
- Полированная поверхность крыла должна давать правильное отображение (без изломов линий).
- На модели до полировки должна быть нанесена вся необходимая информация:
 1. Плоскость хорд по всей передней и задней кромке крыла и оперения.
 2. Строительная горизонталь и плоскость симметрии (на фюзеляже или на корпусе).
 3. Проекция осей вращения на поверхностях элеронов, закрылков, щитков, рулей и других отклоняемых элементах модели (при угле отклонения равном 0°).
 4. Контрольные сечения, используемые для наложения шаблонов, а также информация, наносимая в виде точек или рисок.
 5. На модели может быть нанесен ее заводской номер (шифр) и номер модели лаборатории.

Допуски на изготовление моделей и шаблонов.

Все криволинейные поверхности моделей выполняются по металлическим шаблонам; необходимо обеспечить удобную и однозначную их установку на модели.

Допустимые отклонения размеров от чертежа при изготовлении шаблонов и моделей приведены ниже:

Наименование.	Допуски в мм
<i>Крыло</i>	
Ординаты шаблона	$\pm 0,05$
Зазоры между шаблоном и поверхностью крыла	0,20
Зазор в замке шаблона	0,15
Толщина задней кромки	0,5
Длина хорды контрольного сечения	$< 0,5$
Размах	$< \pm 1,0$
Смещение относительно носа фюзеляжа и строительной горизонтали	$< \pm 0,5$
<i>Оперение.</i>	
Ординаты шаблона	0,05
Зазоры между шаблоном и поверхностью оперения	$\pm 0,10$
Зазор в замке шаблона	0,10
Длина хорды контрольного сечения	0,3
Размах	1,0
Расстояние от 0,25 МАХ крыла до 0,25 МАХ оперения	$\pm 1,0$
Смещение оперения относительно носа фюзеляжа и строительной горизонтали	$\pm 0,5$

<i>Фюзеляж и тело вращения.</i>	
Ординаты шаблона	$\pm 0,10$
Зазоры между шаблоном и поверхностью	0,20
Зазор в замке шаблона	0,20
Длина фюзеляжа	$\pm 1,0$
Диаметр	$\pm 1,0$
<i>Радиусы закруглений.</i>	
Радиусы закруглений острых концов крыла и оперений в плане	$\sim 2,5\text{мм}$
Радиусы закруглений острых концов фюзеляжа.	$\sim 3,0\text{мм}$
<i>Установочные углы.</i>	
Угол установки крыла и стабилизатора относительно строительной горизонтали фюзеляжа	$\pm 0,2^\circ$
Угол между плоскостью симметрии модели и плоскостью хорд вертикального оперения	$\pm 0,2^\circ$
Угол поперечного "V" крыла и оперения по передней кромке	$\pm 0,2^\circ$
Угол стреловидности крыла и оперения по передней кромке	$\pm 0,2^\circ$
Угол геометрической крутки крыла	$\pm 0,2^\circ$
Углы отклонения органов управления щитков, закрылков, рулей, элеронов и т.п.	$\pm 0,1^\circ$
Постоянство углов атаки по размаху крыла должно выдерживаться с погрешностью не более	$\pm 0,2^\circ$

Крепление моделей на подвесных устройствах как весов ,6КТ-1, так и универсальной рамы, осуществляется с помощью кронштейнов - державок, которые изготавливаются и устанавливаются заказчиком.

Две передние державки располагаются симметрично на нижней поверхности крыла или вблизи передней кромки (точки А и В), а третья- в плоскости симметрии модели (точка С) в хвостовой части фюзеляжа (корпуса модели), рис.

При проектировании державок, обязательными требованиями являются следующие:

а) материал державок -сталь марки 30ХГСА с термообработкой до $H_B = 110 \pm 10$ кГс/мм

б) обработка поверхности державок по 6-му классу чистоты ().

в) диаметр отверстия ушка передних державок- 4мм., задних державок 3мм. (допуск по посадке 2-го класса точности).

г) толщина ушка передних державок -3мм. (допуск по скользящей посадке 2-го класса точности), задней державки- 2мм.

д) внешний радиус носка ушка для передних державок-5мм, для задней державки-4мм.

е) расстояние между ушками передних державок (точками А и В) и передней кромкой крыла или нижней поверхности крыла не менее 30 мм.

ж) державки могут иметь опорную площадку (с отверстиями под винты или шурупы), прорезь или законцовку в виде винта или шурупа рис.

Чертеж державок, применяемых в аэродинамической трубе Т-1 МАИ,

см на схеме препараторской трубы Т-1 "Данные для препарировки моделей на весы БКТ-1 трубы Т-1 МАИ. Допуск на поперечную и продольную базы: продольная база имеет допуск $\pm 0,3$ мм., а поперечная база $\pm 0,5$ мм.

Для испытаний в трубе Т-1 МАИ при скорости $=50$ м/сек., державки рассчитываются на прочность, определяемую скоростным напором $=150$ кгс/м при 3-х кратном запасе прочности.

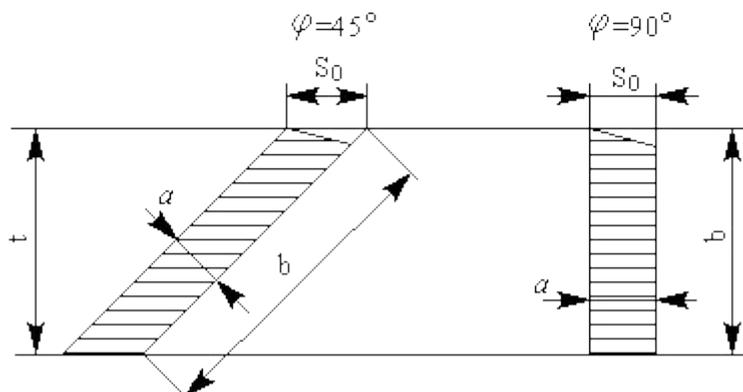
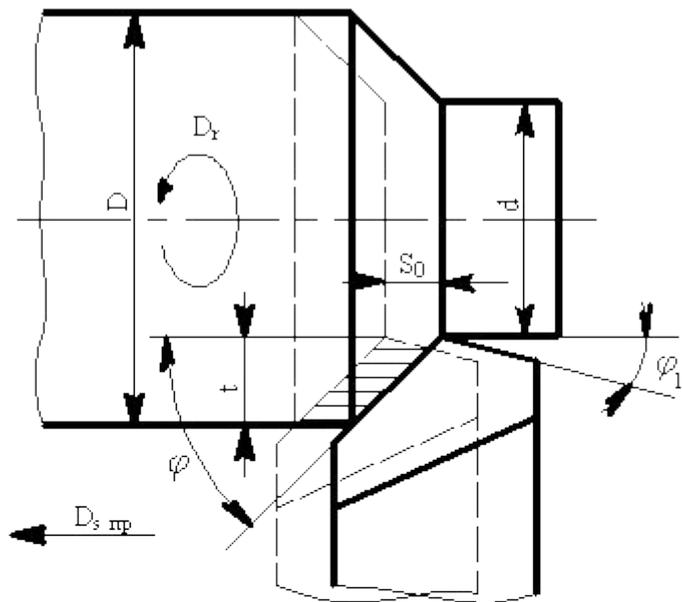
Прочность таких державок должна удовлетворять требованию, чтобы изгиб от действия боковой силы не превышал $1,0$ мм.

«Классические» технологии обработки элементов моделей

Точение - технологический процесс обработки резанием наружных, внутренних цилиндрических, конических, винтовых и фасонных а также плоских торцовых поверхностей тел вращения. Точение ведется токарными резцами на металлорежущих станках, как универсальных, так и специальных, в том числе с ЧПУ. Кроме того, обработка выполняется на карусельных и револьверных станках, на токарных полуавтоматах, автоматах и автоматических линиях.

Характерная особенность технологического процесса обработки заключается в том, что режущий инструмент имеет одно главное лезвие. На протяжении всего периода резания лезвие резца обрабатывает заготовку, находясь в условиях больших динамических нагрузок и высоких температур.

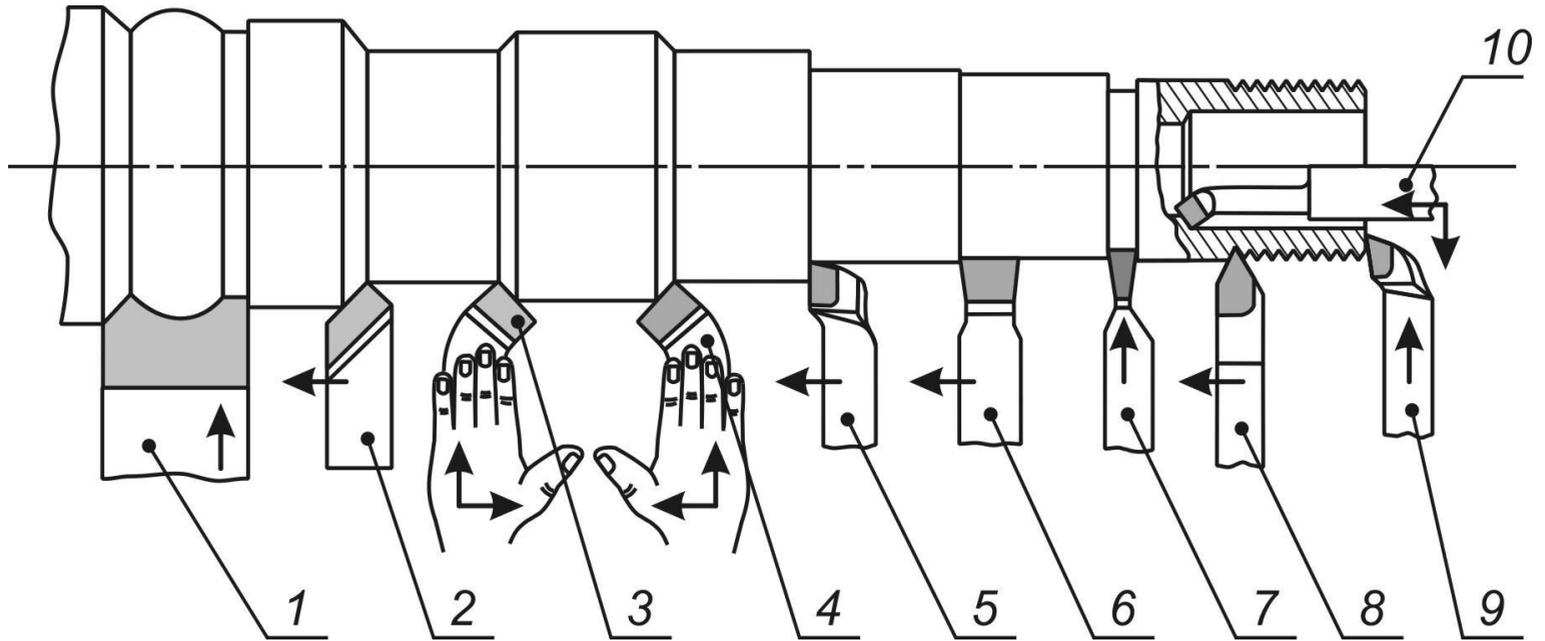
При точении существует два вида движения: вращательное - вокруг оси заготовки и поступательное - вдоль ее оси. Вращательное движение заготовки количественно характеризуется окружной скоростью обрабатываемой поверхности, называемой скоростью резания. Поступательное движение вдоль оси заготовки, придаваемое инструменту, является движением продольной подачи. Оба движения осуществляются с постоянной скоростью, а их сочетание придает траектории движения точек лезвия резца вид винтовой линии. При этом за каждый оборот заготовки лезвие токарного резца перемещается из положения 1 в положение 2 вдоль ее оси на размер подачи S_0 и удаляет с нее один виток слоя металла (рис 13.1). Ширина срезаемого слоя определяется глубиной резания t .



Параметры срезаемого слоя при продольном точении:

a - толщина; b - ширина; f - главный угол в плане; f_1 - вспомогательный угол в плане; S_0 - подача; D - диаметр заготовки; d - диаметр обработанного изделия

Выбор инструмента для обработки



Обработка заготовок осевым режущим инструментом

На сверлильных станках выполняют сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание, цекование, зенкование, нарезание резьбы и обработку сложных отверстий.

Сверление - основной технологический процесс образования отверстий в сплошном металле обрабатываемых заготовок (рис. 13.5, а)

Сверлением могут быть получены как сквозные отверстия, так и глухие. При механической обработке отверстий чаще всего применяют стандартные сверла, имеющие два винтовых зуба, расположенных диаметрально друг относительно друга. Просверленные отверстия, как правило, не обладают абсолютно правильной цилиндрической формой. Их поперечные сечения имеют форму овала, а продольные - небольшую конусность.

Зенкерование - технологический процесс обработки предварительно просверленных отверстий диаметром d , а также отверстий, изготовленных литьем или штамповкой с целью получения более точного по форме и размеру, чем при сверлении цилиндрических отверстий (рис. 13.5, б). Точность размеров лежит в пределах 10-11 качества.

Резание заготовок осуществляется зенкерами, которые в отличие от сверл снабжены тремя или четырьмя главными режущими кромками. Назначение глубины резания зависит от диаметра отверстий и механических свойств обрабатываемых заготовок. Ориентировочно глубина резания составляет

$$t = (0,05...0,1)d$$

Развертывание - технологический процесс завершающей обработки цилиндрического или конического отверстия разверткой (обычно после зенкерования) в целях получения высокой точности и малой шероховатости обработанной поверхности (рис. 13.5, в). Точность размеров соответствует 6-9 качеству, а шероховатость составляет **Ra** 0,32...1,25 мкм.

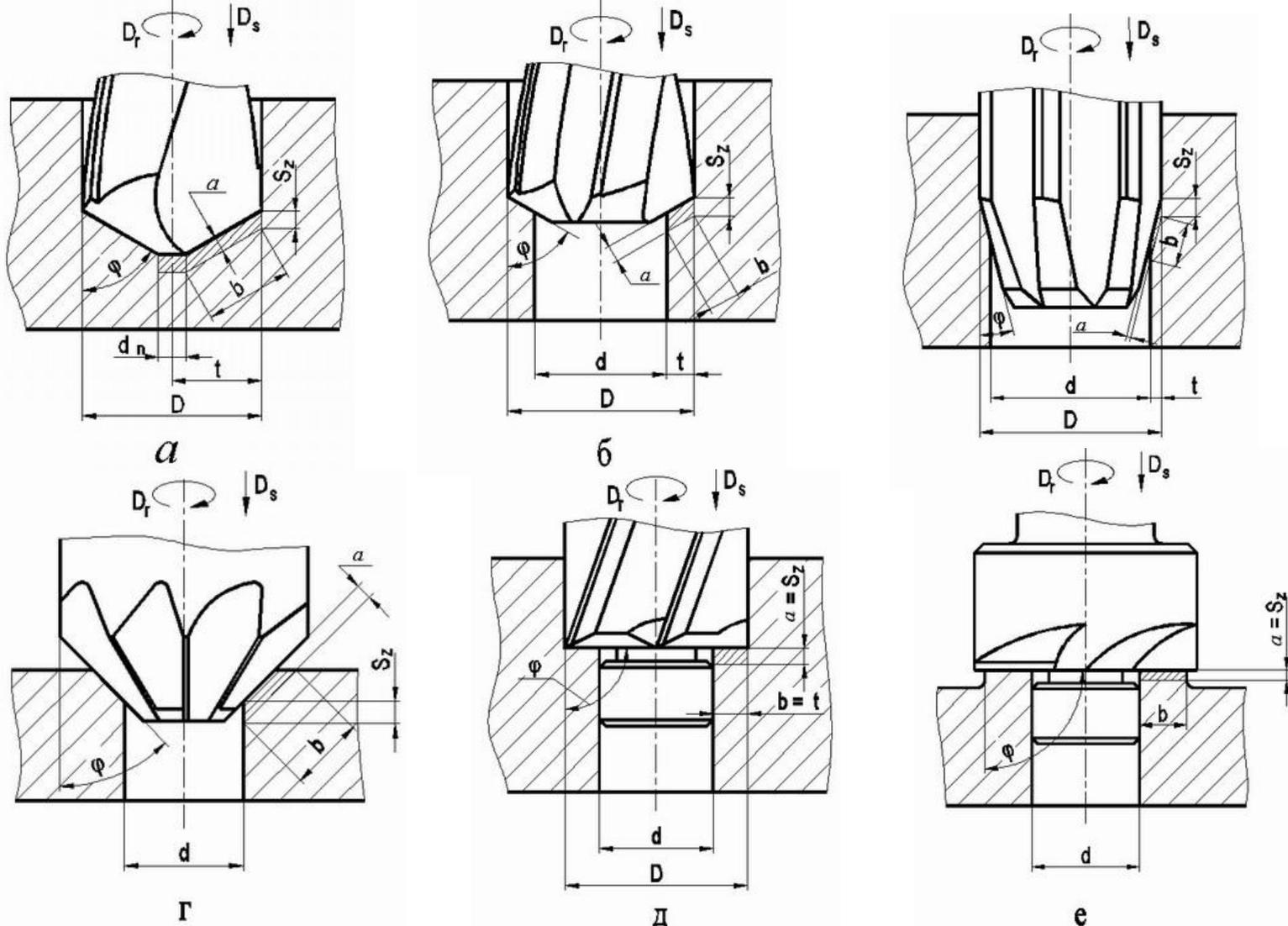
Отверстия обрабатывают развертками, имеющими четное число главных режущих кромок ($Z=6-12$), расположенных симметрично друг относительно друга. Наличие на развертках большого числа зубьев обеспечивает их устойчивое центрирование в обрабатываемых отверстиях. Глубина резания при развертывании зенкерованных отверстий невелика и в зависимости от диаметра отверстий составляет 0,1...0,4 мм.

Рассверливание - технологический процесс увеличения диаметра ранее просверленного отверстия сверлом большего диаметра. Диаметр отверстия под рассверливание выбирают так, чтобы поперечная режущая кромка (перемычка) сверла в работе не участвовала. В этом случае осевая сила уменьшается.

Зенкованием получают в имеющихся отверстиях конические углубления под головки винтов, болтов, заклепок и др (рис. 13.5, г).

Цекование - обработка торцовой поверхности отверстия торцовым зенкером для достижения перпендикулярности плоской торцовой поверхности к его оси (рис 13.5, д, е).

Нарезание резьбы на внутренней цилиндрической поверхности выполняют с помощью метчика или резьбонарезной головки, а отверстия сложного профиля обрабатывают комбинированным режущим инструментом.



Параметры срезаемого слоя при сверлении (а), зенкерования (б), развертывании (в), зенковании (г), цековании внутреннего отверстия (д), цековании бобышки (е): a - толщина срезаемого слоя, b - ширина срезаемого слоя, d - диаметр заготовки, D - диаметр обработанного отверстия, $S_z = S_o/z$ - подача на зуб, S_o - подача на оборот, z - число зубьев, t - глубина резания, φ - угол режущей части

Обработка заготовок фрезерованием

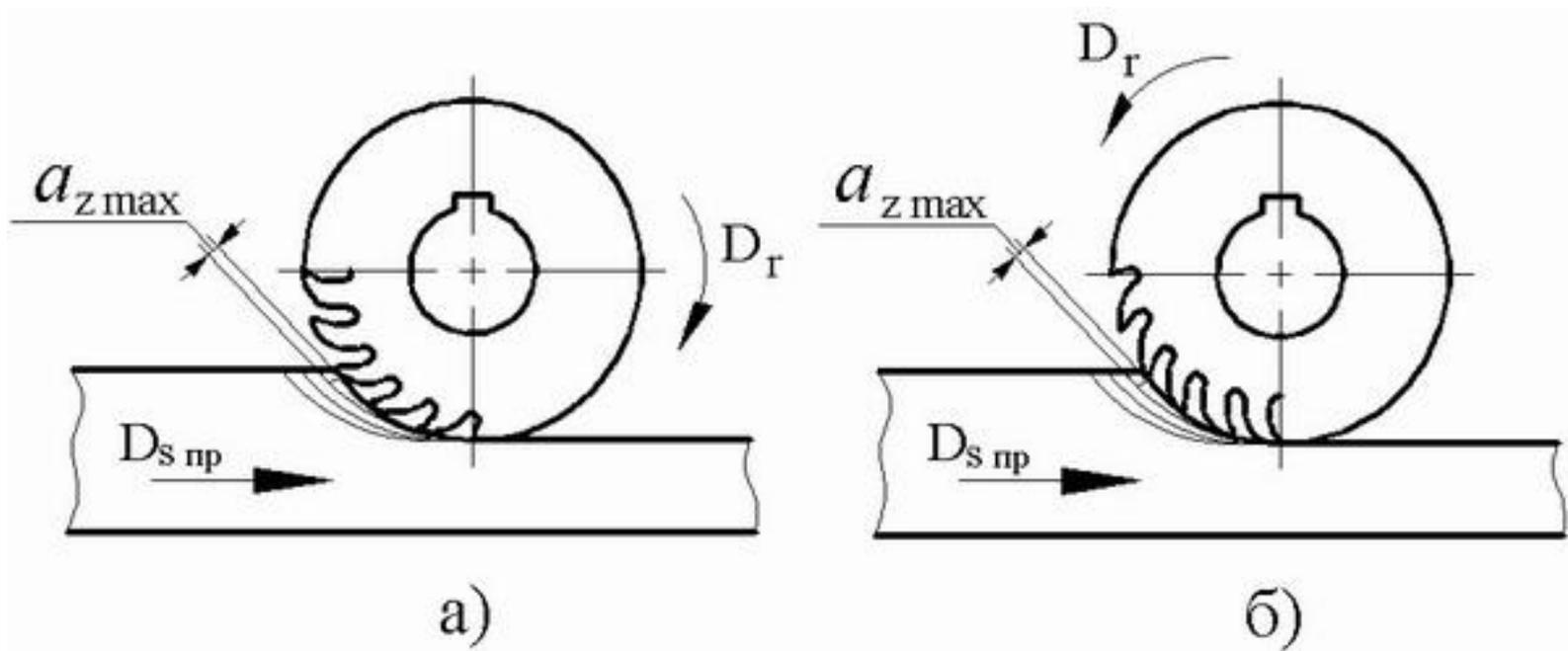
Фрезерование - один из высокопроизводительных и распространенных технологических процессов обработки поверхностей заготовок многолезвийным режущим инструментом - фрезой. Фрезерованием обрабатывают горизонтальные, вертикальные и наклонные плоскости, фасонные поверхности, уступы и пазы различного профиля. Для осуществления этого процесса используют широкую номенклатуру стандартных и специальных фрез.

Особенностью всех фрезерных операций является прерывистое действие режущей кромки. За время рабочего цикла лезвие каждого зуба инструмента нагревается до температуры примерно в два раза ниже, чем температура на резцах и сверлах. При выходе зуба фрезы из обрабатываемого материала его лезвие охлаждается. Поэтому инструмент при фрезеровании не подвержен интенсивному изнашиванию.

Образование новой поверхности осуществляется по мере того, как каждый зуб срезает дугообразный сегмент, толщина **az** которого определяется в основном подачей на зуб (см. рис. 13.6). Обычно подача не превышает 0,25 мм/зуб, однако, благодаря большому числу зубьев скорость съема металла очень высока.

Поверхности после фрезерования имеют регулярный волнообразный профиль в результате дугообразной траектории рабочего движения режущих кромок смежных зубьев фрезы. При черновом фрезеровании шероховатость поверхности составляет **Ra** 2,5...6,3 мкм, точность размеров - 8-13 квалитет, а при чистовом - **Ra** 6,3...0,8 мкм, а точность - 7-11 квалитет.

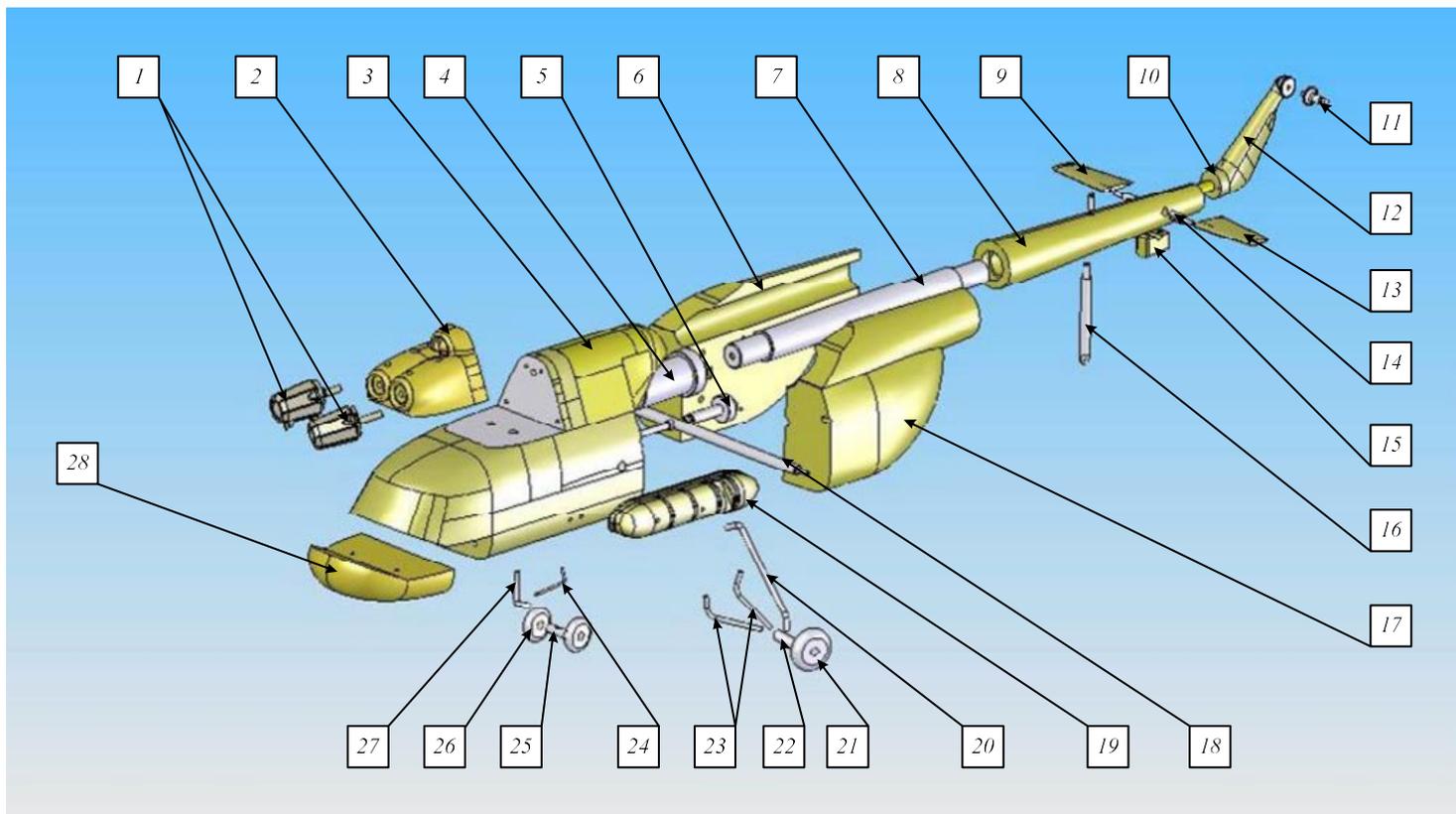
Существуют две основных схемы фрезерования - встречное и попутное. При встречном фрезеровании направление скорости движения подачи противоположно направлению скорости главного движения резания (рис. 13.6, а). В процессе попутного фрезерования направления скоростей движения подачи и главного движения совпадают (рис. 13.6, б).



Фрезы



Современные технологии изготовления моделей



Конструкция модели вертолета *Mi-171A2*





Универсальный высокоскоростной пятикоординатный фрезерный станок с числовым программным управлением *Profi Speed 600*

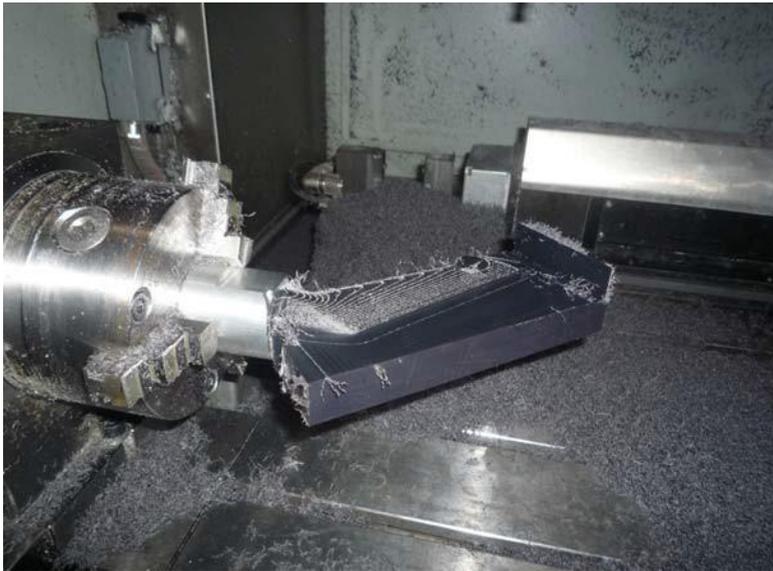
Фрезерный станок с ЧПУ *ProfiSpeed 600* (рис. 2.1.) предназначен для обработки деталей сложной формы из различных конструкционных материалов. Основные технические характеристики станка приведены в таблице 2.1. Станок имеет компактные сервоприводы переменного тока по трем линейным осям, магазин сменных инструментов на 5 позиций, полуголовку *Howimat/ Indramat CNC 125.2/K/ST*, качающуюся ось 2 *CNC125*, систему поддержания температуры охлаждающей жидкости шпинделя *Chilly 25*, включающую в себя 2 форсунки и накопитель жидкости на 4 л.

Рисунок 2.2 иллюстрирует процесс изготовления деталей модели вертолета на станке *Profi Speed 600*, а на рис. 2.3 и 2.4 представлены изготовленные на нем детали модели вертолета, выполненные из 6-блочного полиамида [4, 5] и алюминиевого сплава.

Технические характеристики фрезерного станка Profi Speed 600

Зона перемещений по осям	850x500x450 мм
Рабочая зона по осям	600x500x400 мм
Максимальная нагрузка на стол	650 кг
Максимальная подача по осям	30 м/мин
Точность позиционирования	+/- 0,004 мм
Частота вращения	от 3000 до 30000 об/мин
Система управления	<i>Heidenhain 5301</i>
Шпиндель	<i>SL100-H40EA1</i>
Интерфейс	<i>HSK-E40</i>
Преобразователь частоты	<i>HCS02.1 W0054</i>
Диапазон углов отклонения качающейся оси	+/-100°





Процесс изготовления деталей на станке *Profi Speed 600*



Струйная 3D-печать

Технология струйной 3D-печати (*IJM - Ink Jet Modelling*) позволяет строить модель с наибольшей дискретностью слоев - толщина слоя чуть больше 0,01 мм. Находящийся в подогреваемом картридже жидкий пластик напыляется головкой по контурам слоя модели. Пустоты заполняет поддерживающий материал, в качестве которого выступает воск. Охлаждаясь, полимер затвердевает, формируя модель. Воск также затвердевает, однако впоследствии выплавляется из готовой модели. В процессе работы каждый вновь созданный слой разравнивается специальной головкой, излишки материала удаляются (рис. 2.7).

Все технологии имеют свои особенности, но функционируют по одному принципу. Головка, содержащая от двух до 96 сопел наносит модельный и поддерживающий материал на плоскость слоя. После нанесения слоя, могут проводиться его фотополимеризация и механическое выравнивание. В качестве поддерживающего материала обычно используется воск, а в качестве модельного - широкий спектр материалов, очень близких по свойствам к конструкционным термопластам. Данный метод позволяет получать прозрачные и окрашенные прототипы с различными механическими свойствами - от мягких, резиноподобных до твердых, похожих на пластики.

По технологии послойного склеивания ламината (рис. 2.8) лазерный луч вырезает контур слоя в подаваемом листе (бумаги или пластика). Затем с помощью клея и термического воздействия слой соединяется с предыдущим, на него накладывается следующий и т.д. В итоге вырезанные по контуру и склеенные между собой слои ламината формируют модель. Поддерживающий материал не нужен, однако оставшийся незадействованным ламинат не так-то просто отделить от модели. В целом это не самая совершенная, но довольно дешевая технология.

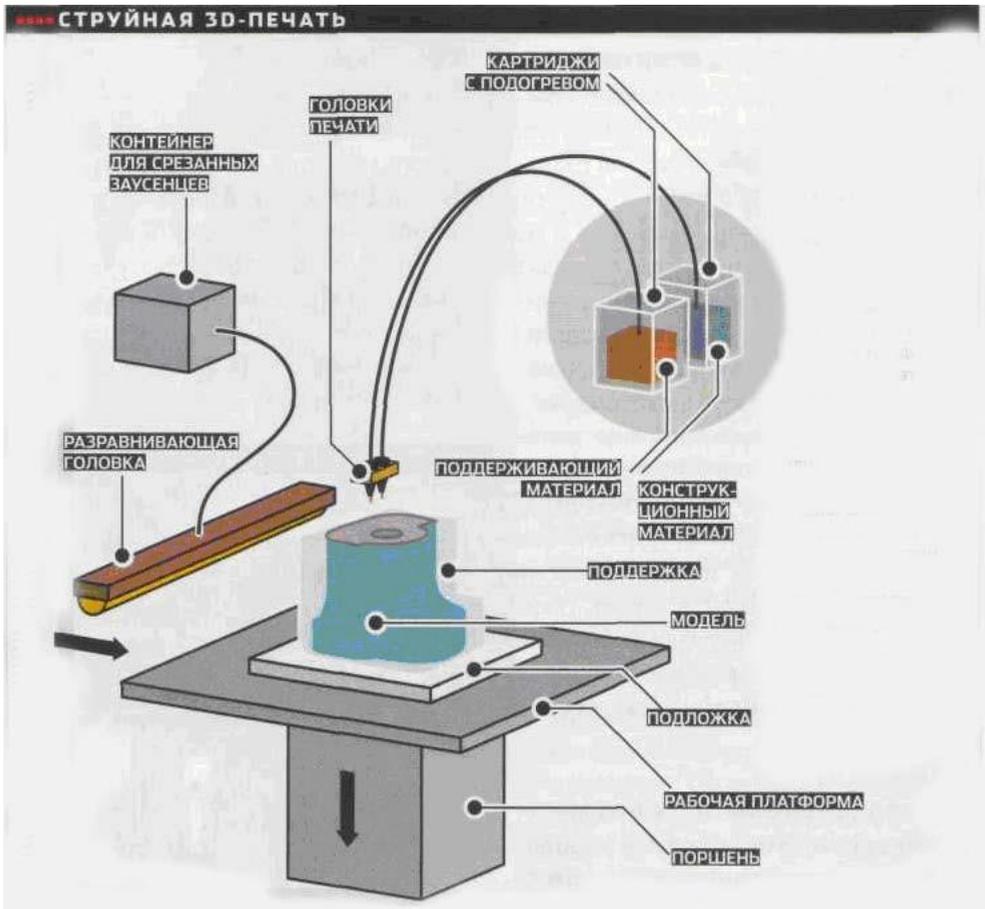
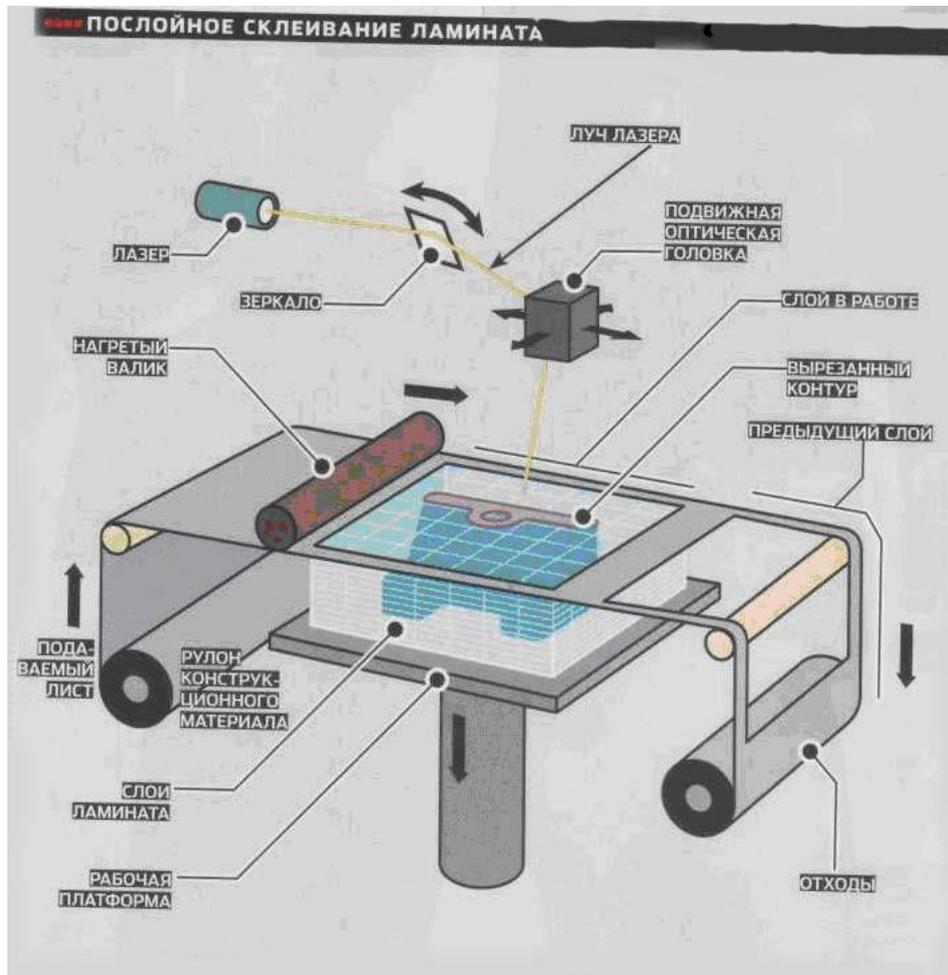


Схема технологии струйной 3D-печати



. Схема технологии послойного склеивания ламината

3D-принтер ZPrinter 650

3D-принтер *Zprinter 650* (рис. 2.13), использующий технологию *SLS* (*Selective Laser Sintering* – лазерное спекание порошковых материалов) сконструирован с учетом большинства требований, предъявляемых в сферах инженерии, образования, архитектурного моделирования, геоинформационных систем и развлечения. Он имеет самую большую среди всех остальных 3D-принтеров рабочую камеру, позволяет создавать очень большие и качественные цветные модели за считанные часы, либо множество небольших моделей одновременно.

В установке *Zprinter 650* используется черная печатающая головка в дополнение к стандартным цветным (желтый, фиолетовый, голубой) для достижения более качественной цветопередачи и равномерного цвета от модели к модели. Большой размер камеры и прекрасный цвет дополняются

разрешающей способностью 600×540 dpi. Технические характеристики принтера приведены в таблице 2.4.

Фирма *Zcorporation* является единственным производителем 3D-принтеров, способных изготавливать полноцветные модели.

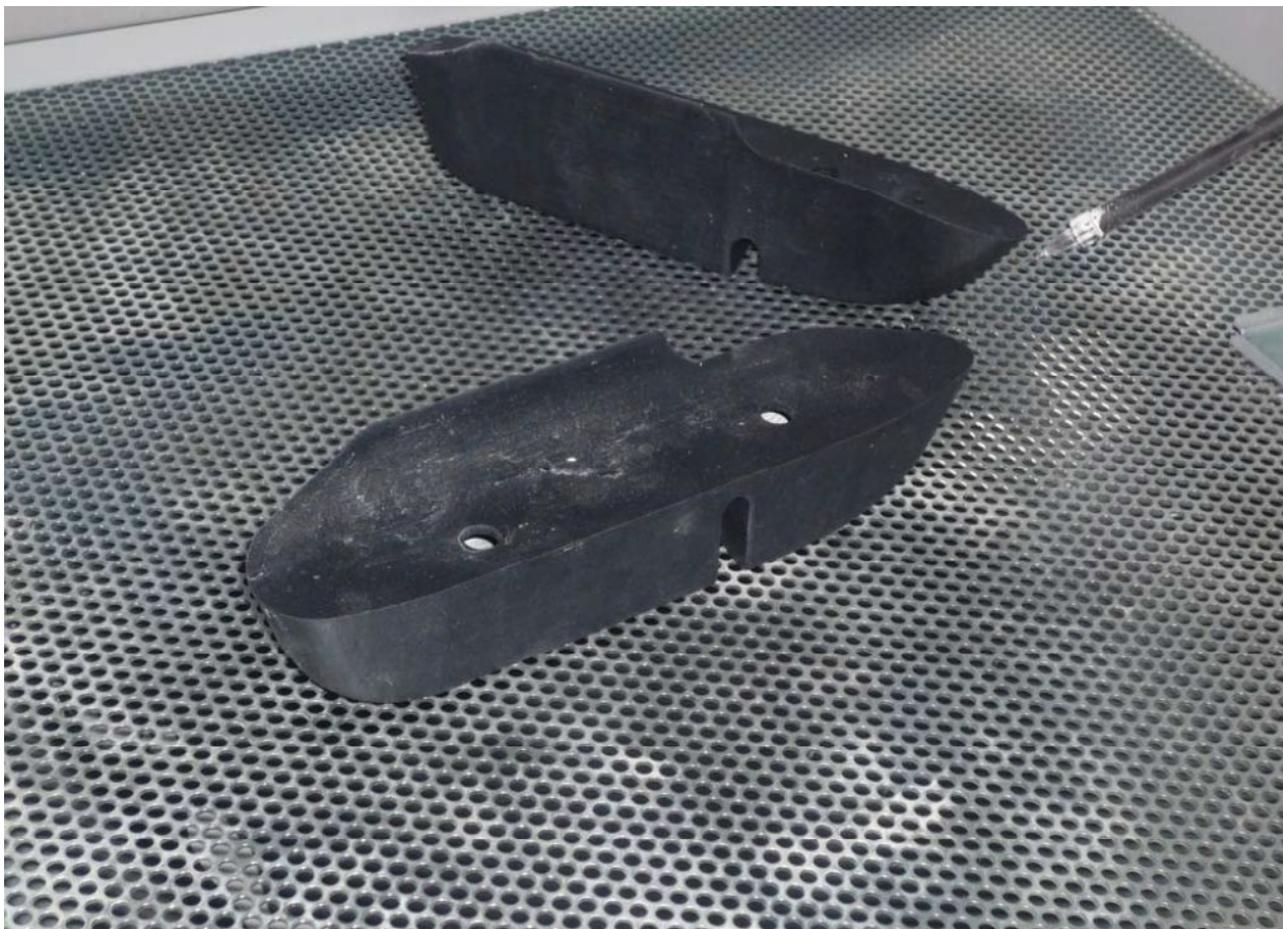
Патентованное программное обеспечение *Z Corporation's* работает с трехмерными моделями в форматах *STL*, *VRML*, *3DS* и *PLY*. Программное обеспечение *Zprint* позволяет просматривать 3D модели, наносить текст на изделия и масштабировать изделия. Программа работает в операционных системах *WindowsXP Professional* и *Windows Vista Business/Ultimate*.

Технические характеристики 3D-принтера Zprinter 650

Габариты прототипа	254 × 381 × 203 мм
Скорость печати	2 – 4 слоя в минуту
Толщина слоя	выбирается пользователем во время печати: 0.089-0.102 мм
Разрешение печати	600 x 540 dpi
Количество печатающих головок:	5
Используемые материалы	высококачественный композитный <i>ZP 150</i>
Габариты оборудования	188 × 74 × 145 см
Вес изделия	340 кг
Программное обеспечение	<i>Zprint</i>



Рис. 2.13. 3D-принтер *ZPrinter 650*



Топливные баки увеличенного объема, выполненные на 3D-принтере *ZPrinter 650*

Технология лазерного спекания

Технология **селективного лазерного спекания** (*SLS - Selective Laser Sintering*) использует порошок из термопластика. Сфокусированный луч лазера пробегает по массиву порошка, спекая его гранулы по контуру слоя будущей модели. Поддерживающий материал не требуется, так как его роль выполняет окружающий изделие порошок. После прохода слоя поршень опускает рабочую платформу на толщину одного слоя, а подвижное дно механизма подачи порошка поднимается на то же расстояние. Валик раскатывает слой порошка поверх уже созданного слоя и процесс спекания повторяется .

Разновидностью этого процесса является **прямое лазерное спекание металлов** (*DMLS*). Здесь, в отличие от *SLS*-технологии, где работают с термопластиками, используются металлические порошки, например, на основе титана или нержавеющей стали. Толщина слоя в *DMLS* может достигать 20 мкм, что позволяет изготавливать на 3D-принтерах мелкие сложные модели с минимальными допусками. На самом совершенном оборудовании этого типа, например, производимом немецкой компанией *EOS*, возможно создавать детали и механизмы, которые практически не требуют последующей обработки.

Так, например, установка *EOSINT M270* (см. раздел 2.2.2) позволяет создавать детали из металлических порошков на основе бронзы, стали, титана и алюминия в среде инертных газов лучом

высокоскоростного лазера. Размер рабочей камеры 250×250×215, минимальная толщина слоя порошка –

0.02 мм.

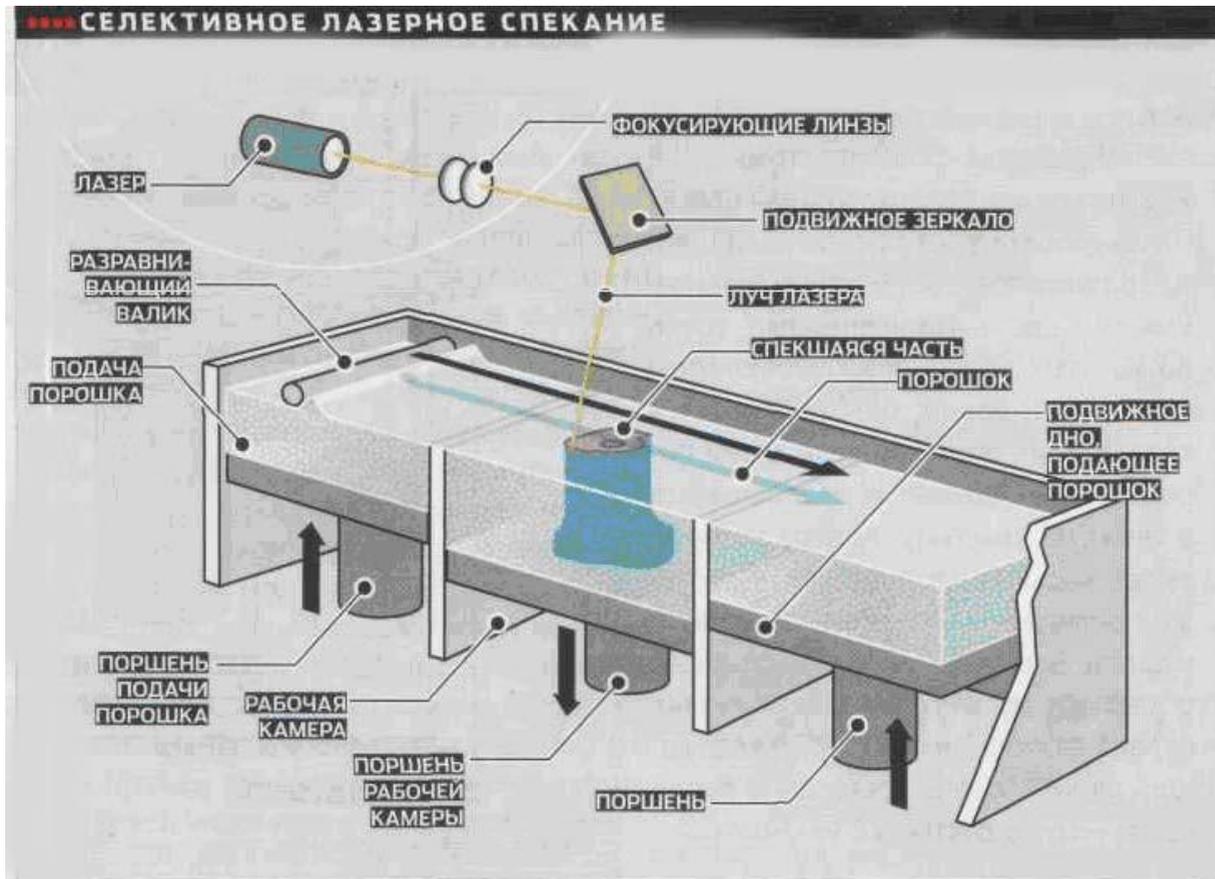
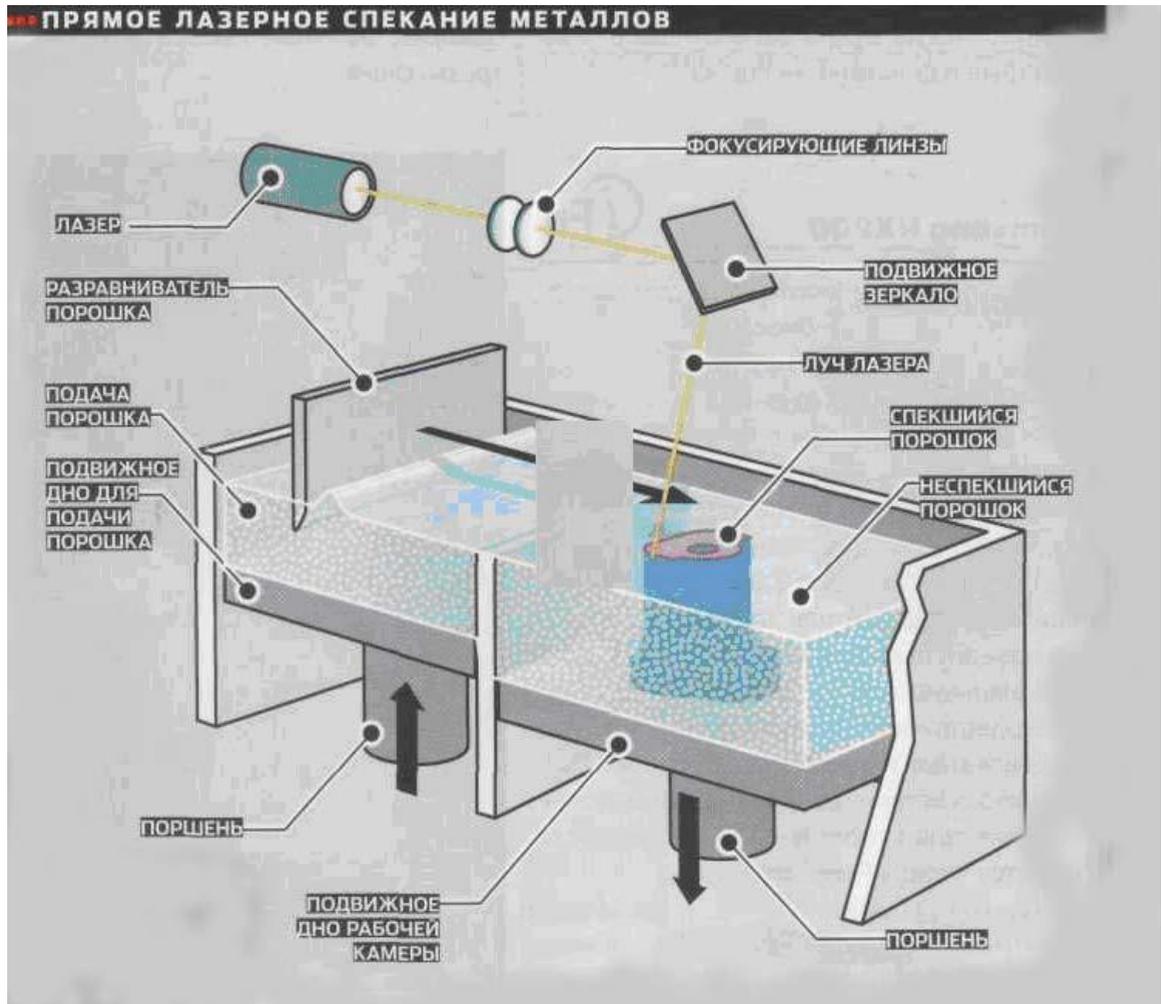


Схема технологии селективного лазерного спекания



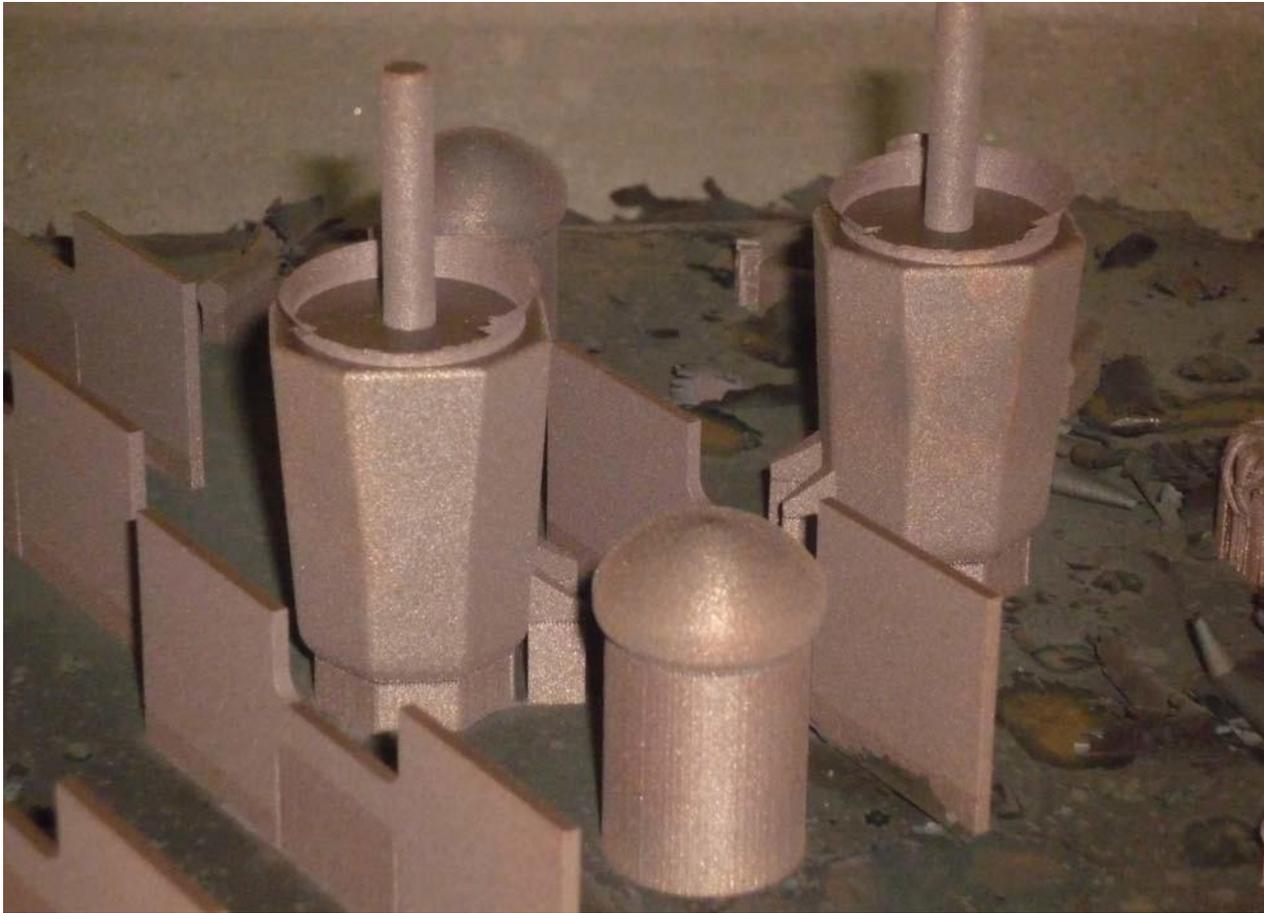
. Схема технологии прямого лазерного спекания металлов

Технические характеристики установки лазерного спекания EOSINT M270

Эффективный объём построения (включая платформу)	250 мм × 250 мм × 215 мм
Скорость построения (зависит от материала)	2 – 20 мм ³ /сек
Толщина слоя (зависит от материала)	20 -100 мкм
Тип лазера	<i>Yb-fibre laser, 200 Вт</i>
Оптическая система	<i>Линзы F-theta</i>
Скорость сканирования	до 7.0 м/сек
Настраиваемая фокусировка луча	100-500 мкм
Питание	32 А
Потребляемая мощность	максимум 55 кВт
Генератор азота	стандартный
Обеспечение сжатым воздухом	7000 hPa; 20м ³ /ч
Габариты системы (ШхДхВ)	2000 мм × 1050 мм × 1940 мм
Рекомендуемая для установки площадь	около 3.5 м × 3.6 м × 2.5 м
Масса	около 1130 кг
Операционная система	<i>Windows</i>
Программное обеспечение	<i>EOS RP Tools, Magic RP (Materialise)</i>
Исходные данные	<i>STL</i>
Сетевое подключение	<i>Enthernet</i>
Сертификация	<i>CE, NFPA</i>



Установка для лазерного спекания *EOSINT M 270*



Детали модели вертолета, изготовленные на установке лазерного спекания

EOSINT M 270

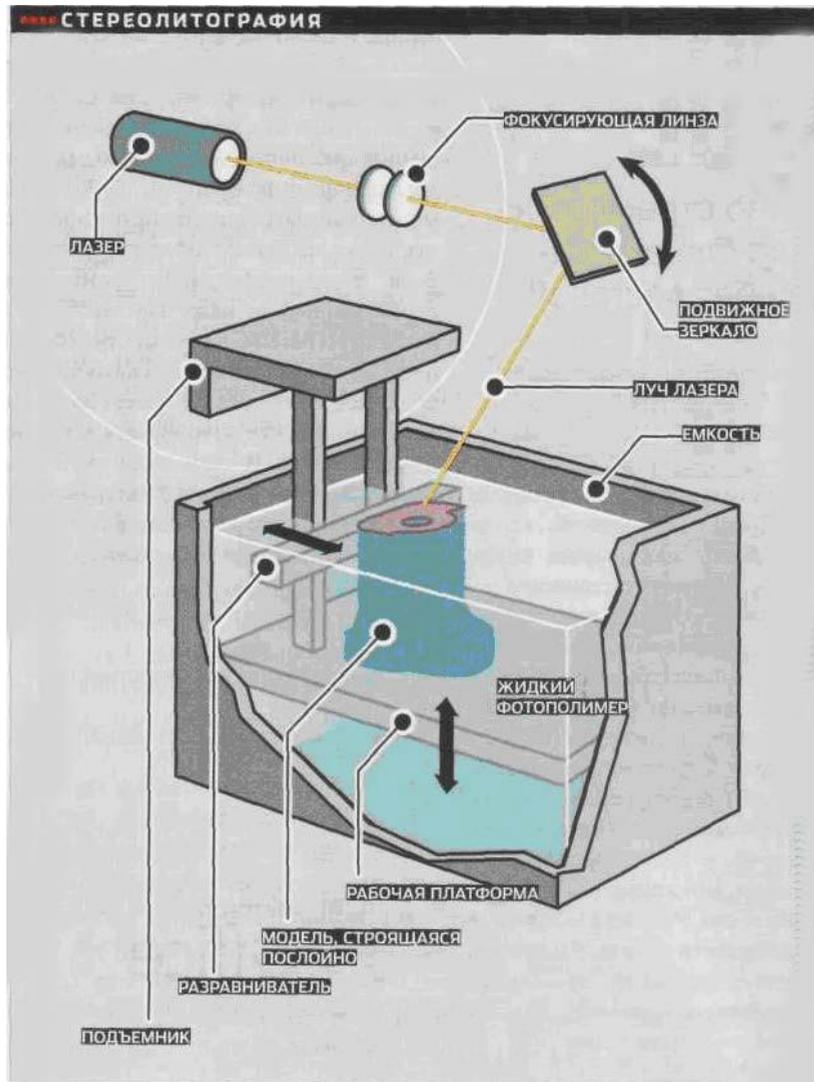
Технология лазерной стереолитографии

Технология лазерной стереолитографии (*SLA - Stereo Lithography Apparatus*) является самым первым и наиболее распространенным методом прототипирования, во многом благодаря достаточно низкой стоимости прототипа. Она охватывает практически все отрасли материального производства от медицины до тяжелого машиностроения. *SLA*-технология позволяет очень быстро и очень точно построить модель изделия. Она заключается в отверждении лазерным лучом жидкого фотополимера, находящегося в рабочей емкости (рис. 2.9). Жидкий пластик затвердевает только в том месте, где прошел лазерный луч. Затем новый жидкий слой наносится на затвердевший слой, и новый контур “обрабатывается” лазером. Процесс повторяется до завершения построения модели, т.е. пластиковой копии детали.

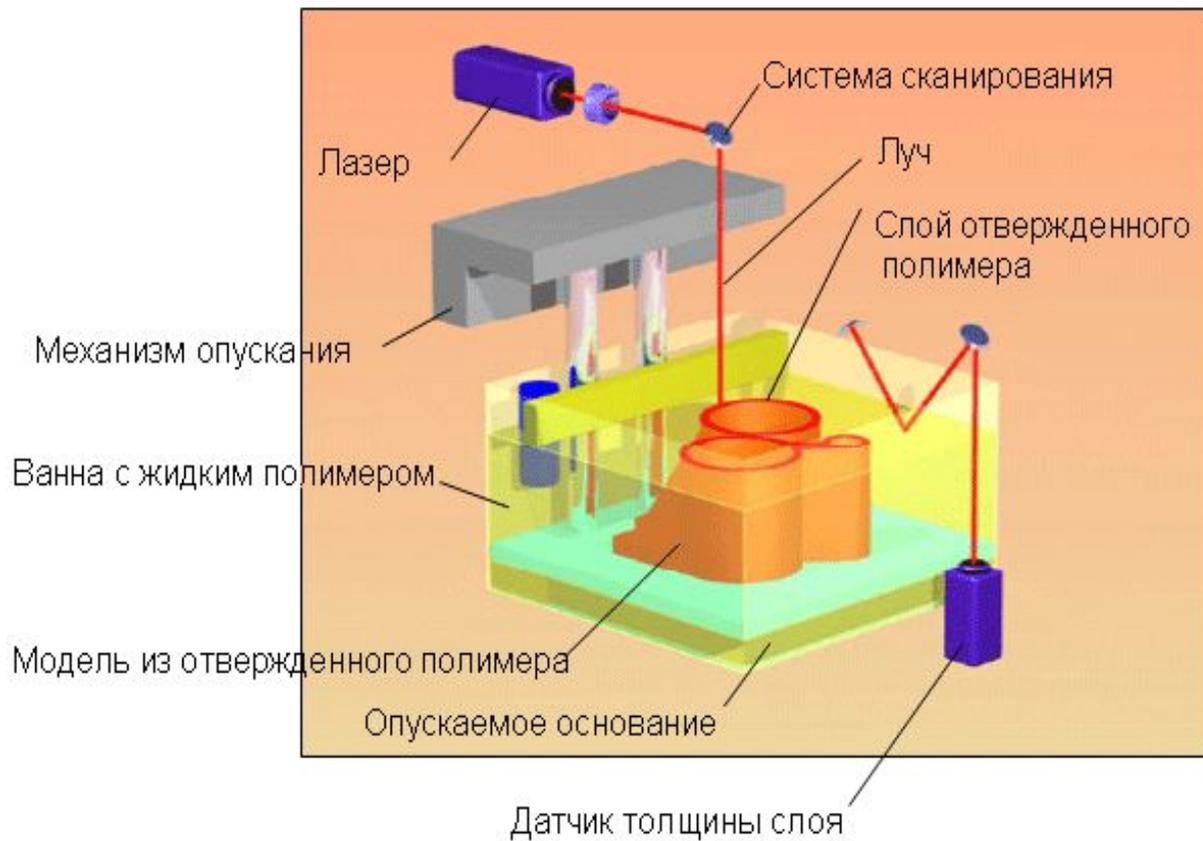
Время построения модели зависит от загрузки рабочей платформы, а также от шага построения. Так, например, установка *Viper si2TM* (см. раздел 2.2.3) имеет размер камеры 250×250×250 мм,

наименьший шаг построения – 0,05 мм.

В силу невозможности применения поддерживающего материала его приходится заменять конструкционным материалом, а затем удалять поддержки механически. Изделия изготавливаются с высокой точностью. Используется достаточно твердый, но хрупкий полупрозрачный материал, подверженный короблению под влиянием



. Схема технологии лазерной стереолитографии



. Принципиальная схема процесса лазерной стереолитографии

Основные технические характеристики установки лазерной стереолитографии Viper si2TM

Лазер	
Тип	Твердотельный Nd: YVO ₄
Длина волны	354,7 нм
Мощность	100 mW
Гарантия	7 500 часов или 12 мес.
Система построения модели	
Принцип	Система Zephyr™
Технология	Послойное отвердевание материала под воздействием лазерного излучения и обработка УФ
Поддержка	Необходимость программного формирования поддержки
Оптика и Сканирование	
Луч (диаметр 1/e ²)	
Режим стандартного разрешения	0,250 ±0,025 мм
Режим высокого разрешения	0,075 ±0,015 мм
Подъемная платформа	
Разрешение по вертикали	0,0025 мм
Повторяемость положения Макс. вес модели	0,0076 мм
Скорость поднятия во время построения модели	9,1 кг
Производительность	5 мм/sec
	Зависит от загрузки – около 7.5 мод /час
Ёмкость для построения	
Объём (в зависимости от комплектации), л	12, 20, 45
Рабочая зона (в зависимости от комплектации), мм	250 × 250 × 250 XYZ

Технология

Рабочий материал Параметры

пластификат *Amethyst SL*

процесса Дополнительная

Температура выжигания – 550° С

обработка

Возможна шлифовка полировка, гальваника

Качество поверхности модели

Удовлетворительное (требует незначительной обработки

после

Программное обеспечение

Программа Операционная система

Windows 5.2 Windows

Формат данных

XP//2000/NT

Необходимый объем памяти на диске

.stl .slc 20 Gb

Тип сети и протокола

Ethernet, IEEE 802.3 10/100 Base-T

Питание

100-120 V AC ±10% 50-60 Hz, 6 amps

15 amp, 115 V

220-240 V AC ±10% 50/60Hz, 3 amps

8 amp, 220-240 V

UPS

не менее 2 KVA

Температура окружающей среды

Температурный диапазон

23°C ±3°C

Макс. скорость изменения температуры

1°C / час

Относительная влажность

20-50% без конденсата

Размеры

В упаковке (деревянный ящик) , мм

Ш 1680 x Д 1020 x В 2110

Без упаковки, мм

Ш 1340 x Д 860 x В 1780

Масса

Брутто	564 кг
Нетто	463 кг

Опции

Дополнительные сменные емкости
Дополнительные платформы для построения

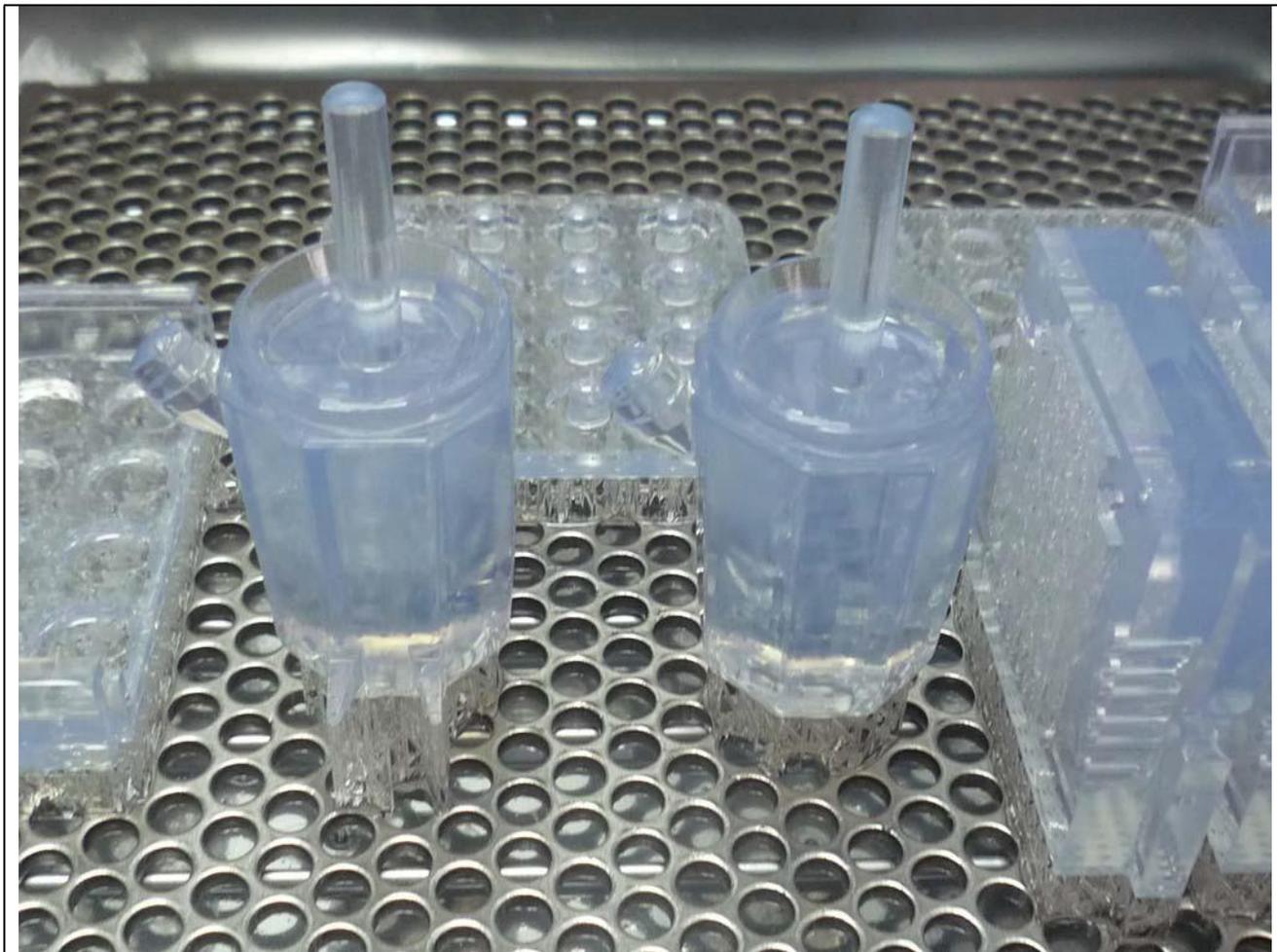
Дополнительное оборудование Аппарат для окончательной полимеризации

УФ-излучением РСА™

Питание	220V 50Hz
Таймер Вес	до 99 мин.
Длина волны	14 кг.
Габариты	320-550 мм.
	250x270x320 мм



Рис. 2.17. Стереолитографическая система *Viper si2TM*



Детали модели вертолета, изготовленные на установке лазерной стереолитографии *Viper si2TM*