А. В. Соловов, А. А. Меньшикова

КОНСТРУКЦИЯ САМОЛЕТОВ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ И КЛАССИКА ТИПОВЫХ РЕШЕНИЙ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ВУЗОВ

Рекомендовано Учебно-методическим отделом высшего образования в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по инженерно-техническим направлениям

Книга доступна на образовательной платформе «Юрайт» urait.ru, а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»

Москва ▪ Юрайт ▪ 2021

УДК 629.735.3(075.8)
ББК 39.53я73
С60

***Авторы*:**

Соловов Александр Васильевич — профессор, кандидат технических наук, профессор кафедры суперкомпьютеров и общей информатики Института информатики, математики и электроники Самарского университета;

Меньшикова Анастасия Александровна — доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры суперкомпьютеров и общей информатики Института информатики, математики и электроники Самарского университета.

Соловов, А. В.

С60 Конструкция самолетов: фундаментальные основы и классика типовых решений : учебное пособие для вузов / А. В. Соловов, А. А. Меньшикова. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 385 с. — (Высшее образование). — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-534-13767-5

Тематическая структура курса включает общие описания самолета и его основных агрегатов: фюзеляжа, шасси, крыла, оперения, системы управления. Существенной отличительной особенностью курса является то, что фундаментальные основы конструкции самолета подкрепляются примерами типовых решений классики авиастроения в агрегатах различных самолетов. При описании агрегатов рассматриваются внешние формы, конструкции элементов, силовые схемы, стыковые узлы, технологические особенности, механизация, силовая работа, нагрузки, вырезы, гермоотсеки и т. п. Многочисленные схемы и фотоснимки препарированных агрегатов иллюстрируют текстовые описания.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для студентов вузов, обучающихся по специальностям «Самолето- и вертолетостроение», «Авиастроение» (бакалавриат и магистратура).

УДК 629.735.3(075.8)
ББК 39.53я73

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-5-534-13767-5

© Соловов А. В., Меньшикова А. А., 2021
© ООО «Издательство Юрайт», 2021

Содержание

Предисловие **9**
Введение **12**
Тема 1. Общая характеристика самолета **14**
1.1. Основные агрегаты, классификация и эффективность самолетов 14
1.2. Крыло 17
1.3. Оперение 18
1.4. Фюзеляж 20
1.5. Шасси 21
1.6. Система управления 23
Вопросы для самоконтроля 24
Тема 2. Фюзеляж самолета **25**
2.1. Общие сведения о фюзеляже 25
2.1.1. Назначение фюзеляжа и требования к нему 25
2.1.2. Внешние формы фюзеляжа 26
2.1.3. Нагрузки, действующие на фюзеляж 27
2.1.4. Конструктивно-силовые схемы фюзеляжа 28
2.1.5. Конструкция элементов фюзеляжа 31
2.1.6. Крепление агрегатов самолета к фюзеляжу 35
2.1.7. Вырезы в фюзеляже 38
2.1.8. Гермоотсеки 39
Вопросы для самоконтроля 41
2.2. Фюзеляж самолета Су-15 41
2.2.1. Назначение и основные характеристики самолета 42
2.2.2. Внешние формы фюзеляжа 42
2.2.3. Силовая схема 43
2.2.4. Конструкция элементов 48
2.2.5. Крепление агрегатов самолета к фюзеляжу 49
Вопросы для самоконтроля 51
Тема 3. Шасси самолета **53**
3.1. Общие сведения о шасси 53
3.1.1. Основные требования к шасси 53
3.1.2. Компоновочные схемы шасси 54
3.1.3. Нагрузки на шасси 59
3.1.4. Конструктивно-силовые схемы 60

3.1.5. Авиационные колеса шасси ... 66
3.1.6. Амортизаторы шасси ... 71
Вопросы для самоконтроля ... 77
3.2. Шасси самолета Ту-154 ... 77
3.2.1. Общие сведения о самолете ... 77
3.2.2. Схема шасси ... 78
3.2.3. Основная опора шасси ... 78
3.2.4. Передняя опора шасси ... 86
3.2.5. Система торможения колес ... 94
3.2.6. Система сигнализации шасси ... 95
Вопросы для самоконтроля ... 95
3.3. Шасси самолета Ил-10 ... 96
3.3.1. Общие сведения о самолете ... 96
3.3.2. Основная опора ... 96
3.3.3. Уборка и выпуск основной опоры ... 98
3.3.4. Хвостовая опора ... 99
Вопросы для самоконтроля ... 100
3.4. Шасси самолета Су-9 ... 101
3.4.1. Общие сведения о самолете ... 101
3.4.2. Основная опора шасси ... 101
3.4.3. Передняя опора ... 103
Вопросы для самоконтроля ... 104
3.5. Шасси самолета Белл Р-63 «Кингкобра» ... 104
3.5.1. Общие сведения о самолете ... 104
3.5.2. Основная опора ... 106
3.5.3. Передняя опора ... 107
Вопросы для самоконтроля ... 109
3.6. Шасси самолета МиГ-9 ... 110
3.6.1. Общие сведения о самолете ... 110
3.6.2. Основная опора ... 111
Вопросы для самоконтроля ... 113
3.7. Шасси самолета Ту-4 ... 113
3.7.1. Общие сведения о самолете ... 113
3.7.2. Передняя опора ... 114
3.7.3. Основная опора ... 118
3.7.4. Хвостовая опора ... 121
Вопросы для самоконтроля ... 121

Тема 4. Крыло самолета ... 123

4.1. Общие сведения о крыле ... 123
4.1.1. Назначение крыла и требования к нему ... 123
4.1.2. Внешние формы крыльев ... 123
4.1.3. Нагрузки на крыло ... 124
4.1.4. Основные элементы конструкции крыла ... 125
4.1.5. Силовая работа крыла ... 129

4.1.6. Конструктивно-силовые схемы крыльев 131
4.1.7. Сравнительная оценка силовых схем 134
4.1.8. Органы управления на крыле 135
4.1.9. Механизация крыла 137
4.1.10. Описание крыльев различных типов 138
Вопросы для самоконтроля 141
4.2. Крыло самолета А-20С «Бостон» 142
4.2.1. Общие сведения о самолете 142
4.2.2. Внешние формы крыла 143
4.2.3. Силовая схема 143
4.2.4. Конструкция элементов крыла 144
4.2.5. Стыковые узлы 146
4.2.6. Технологические особенности крыла 148
4.2.7. Элерон 149
Вопросы для самоконтроля 150
4.3. Крыло самолета «Супер Аэро» 151
4.3.1. Общие сведения о самолете 151
4.3.2. Внешние формы крыла 151
4.3.3. Силовая схема 152
4.3.4. Конструкция элементов крыла 152
4.3.5. Стыковые узлы 153
4.3.6. Элерон 154
4.3.7. Механизация крыла 155
Вопросы для самоконтроля 155
4.4. Крыло самолета МиГ-15 156
4.4.1. Общие сведения о самолете 156
4.4.2. Внешние формы крыла 157
4.4.3. Силовая схема 158
4.4.4. Конструкция элементов крыла 159
4.4.5. Технологические особенности крыла 162
4.4.6. Элерон 163
4.4.7. Механизация 164
4.4.8. Противофлаттерные мероприятия 164
Вопросы для самоконтроля 165
4.5. Крыло самолета Як-25 166
4.5.1. Общие сведения о самолете 166
4.5.2. Внешние формы крыла 166
4.5.3. Силовая схема 168
4.5.4. Конструкция элементов крыла 169
4.5.5. Элерон 172
4.5.6. Механизация 173
Вопросы для самоконтроля 173
4.6. Крыло самолета Як-26 173
4.6.1. Общие сведения о самолете 173

4.6.2. Внешние формы крыла ... 174
4.6.3. Силовая схема и конструкция крыла ... 175
Вопросы для самоконтроля ... 178
4.7. Крыло самолета Ил-28 ... 178
4.7.1. Общие сведения о самолете ... 178
4.7.2. Внешние формы крыла ... 179
4.7.3. Силовая схема ... 179
4.7.4. Конструкция элементов крыла ... 181
4.7.5. Стыковка консолей к центроплану ... 185
4.7.6. Технологические особенности крыла самолета Ил-28 ... 188
4.7.7. Конструкция элеронов ... 190
4.7.8. Механизация ... 191
Вопросы для самоконтроля ... 192
4.8. Крыло самолета Ту-154 ... 192
4.8.1. Внешние формы крыла ... 192
4.8.2. Силовая схема ... 194
4.8.3. Конструкция элементов крыла ... 196
4.8.4. Стык отъемной части крыла с центропланом ... 206
4.8.5. Элерон ... 207
4.8.6. Гасители подъемной силы и интерцепторы ... 208
4.8.7. Предкрылки ... 210
4.8.8. Закрылки ... 210
Вопросы для самоконтроля ... 214
4.9. Крыло самолета Су-15 ... 214
4.9.1. Внешние формы крыла ... 214
4.9.2. Силовая схема ... 215
4.9.3. Конструкция элементов крыла ... 219
4.9.4. Стыковка крыла с фюзеляжем ... 221
4.9.5. Конструкция элерона ... 222
4.9.6. Механизация крыла ... 223
Вопросы для самоконтроля ... 224

Тема 5. Оперение самолета ... 225
5.1. Общие сведения об оперении ... 225
5.1.1. Назначение и требования ... 225
5.1.2. Виды оперения ... 225
5.1.3. Формы оперения ... 228
5.1.4. Нагрузки оперения ... 229
5.1.5. Конструктивно-силовые схемы оперения ... 229
5.1.6. Конструкция рулей и элеронов ... 233
Вопросы для самоконтроля ... 238
5.2. Оперение самолета А-20С «Бостон» ... 238
5.2.1. Общие сведения ... 238
5.2.2. Внешние формы оперения ... 239
5.2.3. Конструктивно-силовые схемы оперения ... 239

5.2.4. Конструкция элементов оперения 240
5.2.5. Конструкция рулей 241
Вопросы для самоконтроля 243
5.3. Оперение самолета «Супер Аэро» 243
5.3.1. Общие сведения 243
5.3.2. Внешние формы оперения 243
5.3.3. Конструктивно-силовые схемы оперения 244
5.3.4. Конструкция элементов оперения 244
Вопросы для самоконтроля 246
5.4. Оперение самолета МиГ-15 247
5.4.1. Общие сведения 247
5.4.2. Конструкция стабилизатора 248
5.4.3. Конструкция киля 249
5.4.4. Конструкция рулей 252
Вопросы для самоконтроля 254
5.5. Оперение самолета Як-26 254
5.5.1. Общие сведения 254
5.5.2. Конструктивно-силовая схема оперения 255
5.5.3. Конструкция элементов оперения 263
Вопросы для самоконтроля 267
5.6. Оперение самолета Су-15 267
5.6.1. Общие сведения 267
5.6.2. Конструктивно-силовая схема оперения 268
5.6.3. Конструкция элементов оперения 273
Вопросы для самоконтроля 275
5.7. Оперение самолета Ил-28 276
5.7.1. Общие сведения 276
5.7.2. Конструктивно-силовая схема оперения 276
5.7.3. Конструкция элементов оперения 285
Вопросы для самоконтроля 287
5.8. Управляемый стабилизатор самолета МиГ-23 287
5.8.1. Внешние формы стабилизатора 287
5.8.2. Силовая схема стабилизатора 288
5.8.3. Конструкция элементов стабилизатора 289
Вопросы для самоконтроля 291

Тема 6. Система управления самолетом 292

6.1. Общие сведения о системе управления 292
6.1.1. Назначение и требования 292
6.1.2. Командные посты управления 293
6.1.3. Проводка управления 298
6.1.4. Кинематика управления 303
6.1.5. Усилия управления 305
6.1.6. Способы уменьшения маневренных усилий управления 307
6.1.7. Системы бустерного управления 311

6.1.8. Элементы системы управления 322
Вопросы для самоконтроля 326
6.2. Система управления самолета Ту-154 327
6.2.1. Общие сведения 327
6.2.2. Размещение элементов системы управления в кабине 329
6.2.3. Управление рулем высоты 331
6.2.4. Управление рулем направления 334
6.2.5. Управление элеронами и интерцепторами 338
6.2.6. Агрегаты системы управления 342
Вопросы для самоконтроля 349
Заключение 351
Литература 352
Словарь терминов 354
Ответы и комментарии к вопросам для самоконтроля 363

Светлой памяти Олега Николаевича Королькова, нашего коллеги и участника работы над материалами пособия, посвящается!

Предисловие

Тематическая структура данного курса включает общее описание самолета (тема 1) и описание его основных агрегатов: фюзеляжа (тема 2), шасси (тема 3), крыла (тема 4), оперения (тема 5), системы управления (тема 6). В каждой теме во вступительной части даются общие сведения о назначении и принципах устройства рассматриваемого агрегата, что способствует более глубокому пониманию особенностей конструкции описываемых далее конкретных агрегатов различных самолетов: «Супер Аэро», А-20 «Бостон», Р-63 «Кингкобра», МиГ-9, МиГ-15, МиГ-23, Як-25, Як-26, Су-9, Су-15, Ил-10, Ил-28, Ту-4, Ту-154, ТУ-204. При описании агрегатов рассматриваются внешние формы, конструкции элементов, силовые схемы, стыковые узлы, технологические особенности, механизация, силовая работа, нагрузки, вырезы, гермоотсеки и т. п.

Реальными прототипами многих авиационных конструкций, представленных в курсе, являются экспонаты учебного кабинета кафедры конструкций и проектирования летательных аппаратов Самарского университета. Агрегаты препарированы и размещены таким образом, чтобы обеспечить не только первоначальное знакомство с авиационной техникой, но и изучение фундаментальных принципов работы авиационных конструкций и типовых конструкторских решений. Материальная база кабинета широко используется в курсах по конструкции самолетов, при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Значительную часть лабораторных занятий в этом кабинете проводят в виде экскурсий, во время которых преподаватель показывает различные агрегаты самолета и рассказывает об устройстве их конструкций. Основные недостатки таких занятий: пассивный характер когнитивной деятельности студентов во время занятия; невозможность полноценного контроля знаний из-за недостатка времени; рутинный характер работы преподавателя, особенно в ходе контроля знаний и консультирования; неадекватность опи-

сания конструкций разными преподавателями; проблемы с восполнением пропущенных студентами занятий и т. п.

Данный курс позволяет устранить часть указанных недостатков учебных занятий в реальном кабинете. Курс предусматривает самостоятельное изучение студентами конструкций и принципов работы агрегатов различных самолетов по каждой теме курса конструкции самолетов. При этом текстовые описания подкрепляются многочисленными графическими иллюстрациями — схемами и фотографиями изучаемых конструкций. Важно также, что после описания каждого агрегата даются вопросы для самоконтроля по пройденному материалу с краткими комментариями, вынесенными в отдельный раздел, что позволяет активизировать процесс усвоения учебного материала.

Использование материалов данного курса в учебном процессе не исключает полностью работу в реальном учебном кабинете, знакомство с «железом» в виде кратких установочных лекций и экскурсий, время на которые может быть сокращено. Однако виртуальная поддержка таких занятий позволяет: повысить активность и самостоятельность учебной работы студентов; облегчить процесс повторения при подготовке к экзаменам и зачетам; разгрузить преподавателей от рутины контроля и консультирования; использовать внеаудиторное время для изучения конструкций самолетов в виде домашних заданий; внедрить дистанционные формы учебной работы, в том числе в учебных заведениях, имеющих слабую лабораторную базу.

Выпускник, освоивший программу специалитета в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки «Самолето- и вертолетостроение», специализации «Самолетостроение», должен обладать профессионально-специализированными компетенциями, заключающимися в способности и готовности участвовать в разработке проектов самолетов различного целевого назначения, способности и готовности участвовать в разработке конструктивно-силовых схем агрегатов самолетов и их узлов.

В соответствии с этими требованиями ФГОС ВО студенты в результате изучения курса «Конструкции самолетов» должны:

знать

— основные агрегаты конструкции самолетов;

— назначение, внешние формы, конструктивно-силовые схемы агрегатов конструкции самолетов;

— виды нагрузок, компоновочные схемы, типовые конструкторские решения в самолетах различных типов;

уметь

— применять полученные знания в типовых ситуациях при разработке конструкций узлов агрегатов самолета;

владеть

— навыками решения нетиповых задач по разработке конструкций агрегатов в ходе дипломного проектирования и практической работы в проектно-конструкторских организациях.

Данный курс призван помочь студентам сформировать указанные профессионально-специализированные компетенции.

В основу курса положены материалы учебного мультимедиакомплекса «Виртуальный учебный кабинет конструкции самолетов», подготовленного в середине нулевых в Центре новых информационных технологий (ЦНИТ) совместно с кафедрой конструкции и проектирования летательных аппаратов (КиПЛА) Самарского государственного аэрокосмического университета (СГАУ). Наряду с авторами в создании виртуального кабинета принимали участие доцент кафедры КиПЛА О. Н. Корольков, сотрудники ЦНИТ Д. В. Кархалев, О. П. Чегодаева, В. Т. Мищук.

Заведующий кафедрой КИПЛА профессор В. А. Комаров поддержал авторов в их работе и предоставил возможности для проведения видео и фотосъемок в учебном кабинете кафедры. Профессор кафедры Д. М. Козлов и старший преподаватель В. Н. Майнсков взяли на себя нелегкий труд по рецензированию и сделали многочисленные замечания, позволившие улучшить содержание учебного материала. И, конечно же, нельзя не упомянуть многих преподавателей и лаборантов кафедры, вложивших свой труд в комплектацию и методическую подготовку реального кабинета конструкций самолетов, послужившего прототипом виртуальному кабинету, за его более чем 50-летнюю историю развития. К сожалению, всех их уже не вспомнить по именам и фамилиям. Особо отметим только профессора А. А. Комарова, руководившего кафедрой в период 1940—1970-х гг. и внесшего значительный вклад в развитие кабинета. Всем этим людям авторы выражают свою искреннюю благодарность.

Введение

Авиастроение традиционно считают высокотехнологичной отраслью промышленности. И это не случайно. Самолет всегда поражает обывателя тем, что, будучи тяжелее воздуха, он не только летает, но и перевозит пассажиров и различные грузы. Проектировщикам, конструкторам авиационной техники приходиться решать ряд противоречивых по своей сути задач, в частности как спроектировать и изготовить конструкцию минимальной массы, чтобы при этом она выдерживала жесткие условия эксплуатации — не разрушалась под действием нагрузок, возникающих при взлете, полете и посадке самолета.

Поэтому многие передовые достижения науки и техники нередко находят свое первое применение в авиации. Так, например, компьютерные технологии, широко используемые ныне практически во всех сферах деятельности людей, в авиастроении применяются уже с середины 1960-х гг. и стали обыденностью уже в конце 1970-х — начале 1980-х гг. Более того, потребности авиастроения часто стимулируют развитие науки и технологий.

Однако не высокие технологии и даже не высокие научные методы определяют высокое совершенство авиационной техники. Главное — это профессионализм, талант и интеллект авиационных инженеров, посвятивших свою трудовую жизнь служению авиации.

Важно также отметить, что многие научные идеи и технические решения, реализованные в авиастроении, в дальнейшем находили свое применение в конструкциях водных судов и автомобилей, в строительных сооружениях. Инженер, получивший подготовку в авиационном вузе, востребован и в других отраслях. Ведь фундаментальные принципы механики и соответствующих методов проектирования применимы к любым несущим конструкциям. Высокий уровень инженерной культуры, присущий авиастроению, гарантирует успешную диверсификацию полученных знаний и умений к другим инженерным приложениям.

Но стать высококвалифицированным инженером невозможно без кропотливого учебного труда и изучения накопленного предшественниками опыта. Данный курс призван помочь изучить этот опыт. В курсе описаны и визуально представлены различные авиационные конструкции, которые не только демонстрируют шедевры конструкторской мысли, но и наглядно иллюстрируют реализацию

фундаментальных научных принципов механики и методов проектирования силовых конструкций. Знакомство с этими образцами авиационной техники позволит избежать проб и ошибок, на которых учится инженер в начале своей профессиональной карьеры, или хотя бы существенно уменьшить их количество.

Тема 1
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОЛЕТА

1.1. Основные агрегаты, классификация и эффективность самолетов

Самолет — это летательный аппарат тяжелее воздуха с аэродинамическим принципом полета.

При полете используются:

• несущие поверхности самолета (*крыло* и *оперение*) — для создания с помощью воздушной среды подъемной и управляющих сил;

• *силовая установка* — для создания движущей силы за счет энергии находящегося на борту самолета топлива.

Для передвижения по земле — разбега, пробега, руления и стоянки самолет снабжен системой опор — *шасси*.

В соответствии с назначением самолеты имеют определенную целевую нагрузку, оборудование, снаряжение, систему управления (рис. 1.1).

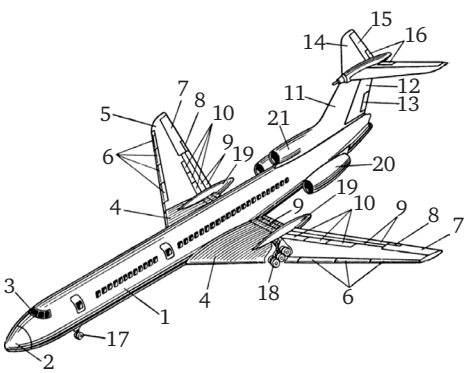

Рис. 1.1. **Основные агрегаты самолета:**
фюзеляж: 1 — фюзеляж; 2 — обтекатель радиолокатора; 3 — фонарь кабины экипажа; крыло: 4 — центроплан; 5 — отъемная часть крыла (ОЧК); 6 — предкрылки; 7 — элерон; 8 — триммер; 9 — закрылки; 10 — интерцепторы; вертикальное оперение: 11 — киль; 12 — руль направления; 13 — триммер руля направления; горизонтальное оперение: 14 — стабилизатор; 15 — руль высоты; 16 — триммер руля высоты; шасси: 17 — передняя опора шасси; 18 — главная опора шасси; 19 — гондола; силовая установка: 20 — гондола двигателя; 21 — воздухозаборник

Таким образом, *самолеты представляют собой сложные технические устройства, состоящие из взаимосвязанных по назначению, месту и функционированию агрегатов, частей и элементов* (рис. 1.2).



Рис. 1.2. **Структурная схема самолета**

Рассматривая самолет как сложную систему с развитой иерархической структурой, в нем можно выделить подсистемы создания подъемной и движущей сил, обеспечения устойчивости и управляемости, жизнеобеспечения, обеспечения выполнения целевой функции и др.

Классификация самолетов может быть проведена по различным признакам — назначению, аэродинамической схеме, типу двигателей, летно-техническим параметрам и т. п. (рис. 1.3).

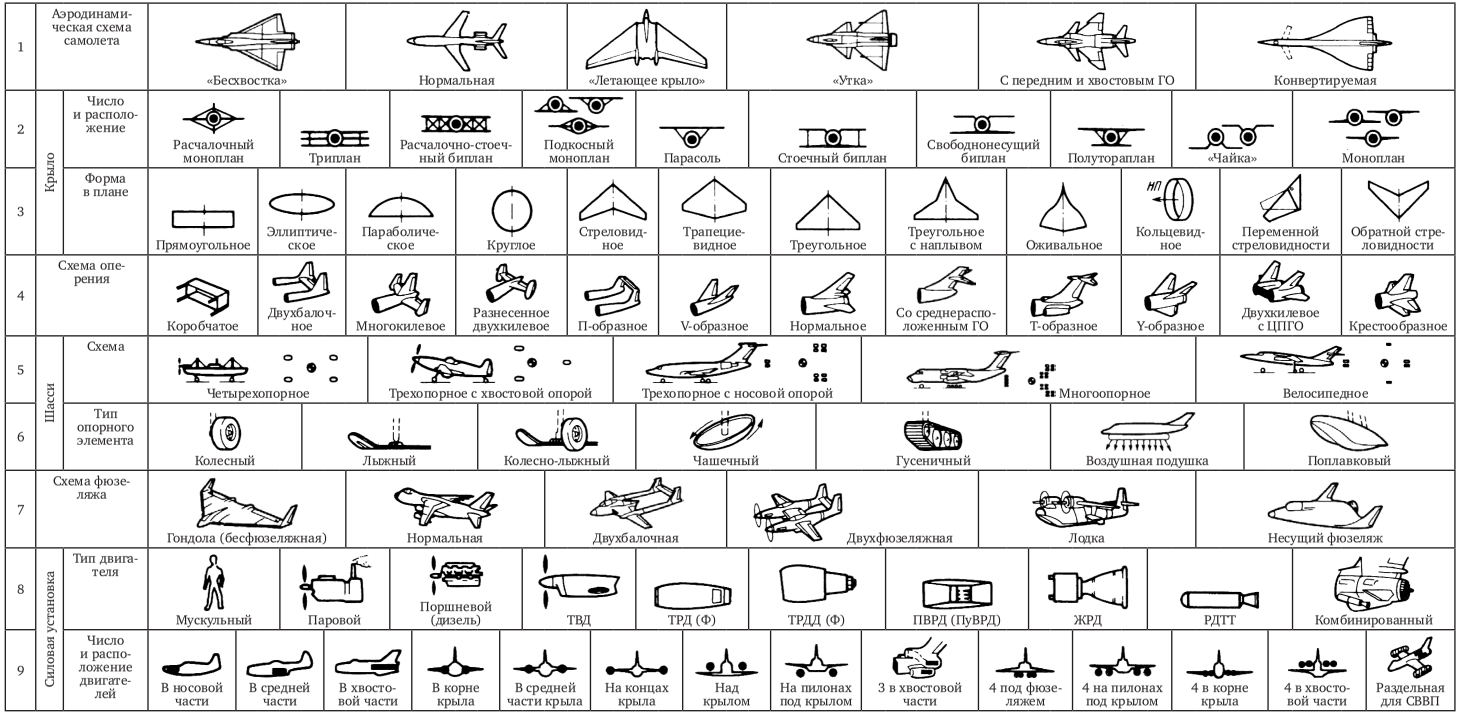

Рис. 1.3. **Классификация самолетов:**

используемые сокращения: ГО — горизонтальное оперение; ЦПГО — цельноповоротное ГО; ТВД — турбовинтовой двигатель; ТРД (Ф) — турбореактивный двигатель с форсажной тягой; ТРДД — турбореактивный двигатель двухконтурный с форсажной тягой; ПВРД — прямоточный воздушно-реактивный двигатель; ПуВРД — пульсирующий ВРД; РДТТ — ракетный двигатель твердотопливный; СУ — силовая установка; СВВП — самолет вертикального взета и посадки

Качества самолета и его эффективность определяются целым рядом характеристик и параметров, наиболее важные из которых следующие:

— взлетная масса;
— масса целевой нагрузки;
— максимальная скорость;
— крейсерская скорость;
— потолок;
— дальность полета;
— скороподъемность;
— маневренность;
— взлетно-посадочные характеристики;
— надежность и безопасность эксплуатации;
— ресурс.

Конструкция самолета должна отвечать многим требованиям, выработанным на основе многолетнего опыта проектирования, производства и эксплуатации самолетов. Основным требованием всегда будет требование обеспечения высокой эффективности самолета при определенных затратах на его разработку, создание и эксплуатацию. Выполнение этого требования обеспечивается высоким уровнем аэродинамического совершенства и совершенства силовой установки, авиационного и радиоэлектронного оборудования самолета, достаточной прочностью и жесткостью конструкции, высокой надежностью, живучестью и безопасностью полета при заданном ресурсе самолета, его хорошими эксплуатационными качествами, а также высоким уровнем технологичности конструкции.

Все эти требования должны выполняться при наименьшей массе конструкции и самолета в целом. Последнее требование является важнейшим для любого самолета, так как перетяжеление конструкции всегда приводит к увеличению общей массы самолета и к снижению его эффективности.

1.2. Крыло

Крыло — несущая поверхность самолета, предназначенная для создания аэродинамической подъемной силы, необходимой для обеспечения полета и маневров самолета на всех режимах, предусмотренных тактико-техническими требованиями к самолету. Схемы крыльев классифицируют на три вида: триплан (рис. 1.4), биплан (рис. 1.5), моноплан (рис. 1.6).

Крыло обеспечивает поперечную устойчивость и управляемость самолета и может быть использовано для крепления шасси, двигателей, размещения топлива, вооружения и т. п. Крыло представляет собой тонкостенную подкрепленную оболочку и состоит из каркаса

и обшивки; каркас — из лонжеронов, стенок и стрингеров (продольный набор) и нервюр (поперечный набор). На крыле расположены средства механизации (предкрылки и закрылки) для улучшения взлетно-посадочных характеристик самолета, элероны и интерцепторы — для управления самолетом относительно продольной оси, гондолы и пилоны — для крепления двигателей и размещения шасси (рис. 1.7).



Рис. 1.4. **Самолет со схемой крыла «триплан»**



Рис. 1.5. **Самолет со схемой крыла «биплан»**



Рис. 1.6. **Самолет со схемой крыла «моноплан»**



Рис. 1.7. **Гондолы на крыле для крепления двигателей и размещения шасси**

1.3. Оперение

Оперение — это несущие поверхности, являющиеся органами устойчивости и управляемости самолета. Оно делится на горизон-

тальное и вертикальное оперение. Различают оперение нормальной (рис. 1.8) и Т-образной (рис. 1.9) схемы.



Рис. 1.8. **Самолет с нормальной схемой оперения**



Рис. 1.9. **Самолет с Т-образной схемой оперения**

Горизонтальное оперение (ГО) предназначено для обеспечения продольной, а вертикальное оперение (ВО) — путевой устойчивости и управляемости самолета. Эти задачи решаются образованием на оперении переменных по величине и направлению аэродинамических сил, необходимых для обеспечения заданных режимов полета.

Оперения нормальной и Т-образной схем, состоящие из неподвижного или переставного (с изменяемым в полете углом установки) стабилизатора с рулями высоты (РВ) и неподвижного киля с рулем направления (РН), характерны для большинства современных самолетов с дозвуковой скоростью полета. На самолетах со сверхзвуковой скоростью полета из-за недостаточной эффективности РВ при полете на сверхзвуковой скорости применяют управляемый стабилизатор без РВ. Переход на управляемый стабилизатор позволяет резко увеличить эффективность ГО, особенно на сверхзвуковых скоростях (эффективность оперения определяется величиной приращения его подъемной силы при изменении угла атаки на один градус). Значительно реже по той же причине (из-за снижения эффективности РН при сверхзвуковом полете) применяется цельноповоротное ВО.

Для повышения эффективности ВО применяются форкили (вверху и снизу), включающие в работу фюзеляж в районе ВО. Применение таких килей снижает влияние на путевую устойчивость затенения ВО крылом и фюзеляжем на больших углах атаки.

1.4. Фюзеляж

Фюзеляж самолета предназначен для размещения экипажа, оборудования и целевой нагрузки (рис. 1.10, 1.11). В фюзеляже могут размещаться топливо, шасси, двигатели. Являясь строительной основой конструкции самолета, он объединяет в силовом отношении в единое целое все его части.



Рис. 1.10. **Фюзеляж грузового самолета**



Рис. 1.11. **Пассажирский салон фюзеляжа**

Основным требованием к фюзеляжу является выполнение им своих функциональных задач в соответствии с назначением

и условиями использования самолета при наименьшей массе фюзеляжа.

Выполнение этого требования достигается:

• выбором таких внешних форм и значений параметров фюзеляжа, при которых получаются минимальное его лобовое сопротивление и наибольшие полезные объемы при определившихся габаритах;

• использованием несущих фюзеляжей, создающих значительную (до 40 %) подъемную силу в интегральных схемах самолета. Это позволяет уменьшить площадь крыла и снизить его массу;

• рациональным использованием полезных объемов за счет повышения плотности компоновки, а также за счет более компактного размещения грузов вблизи центра масс самолета. Последнее способствует уменьшению массовых моментов инерции и улучшению характеристик маневренности, а сужение диапазона изменения центровок при различных вариантах загрузки, выгорании топлива, расходе боеприпасов обеспечивает большую стабильность характеристик устойчивости и управляемости самолета;

• согласованием силовой схемы фюзеляжа с силовыми схемами присоединенных к нему агрегатов. При этом необходимо обеспечить надежное крепление, передачу и уравновешивание нагрузок от силовых элементов крыла, оперения, шасси, силовой установки на силовых элементах фюзеляжа; восприятие массовых сил от целевой нагрузки, оборудования и от конструкции фюзеляжа, а также от аэродинамической нагрузки, действующей на фюзеляж, и нагрузки от избыточного давления в гермокабине;

• удобством подходов к различным агрегатам, размещенным в фюзеляже, для их осмотра и ремонта; удобством входа и выхода экипажа и пассажиров, выброса десантников и вооружения; удобством погрузки, швартовки и выгрузки предназначенных для перевозки грузов. Пассажирам и экипажу должны быть обеспечены необходимые жизненные условия и определенный уровень комфорта при полете на большой высоте и возможность быстрого и безопасного аварийного покидания самолета, экипажу — хороший обзор в полете, при взлете и посадке, рулежке по аэродрому.

1.5. Шасси

Шасси представляет собой систему опор, необходимых для взлета, посадки, передвижения и стоянки самолета на земле, палубе корабля или воде (рис. 1.12, 1.13).

Опоры шасси состоят из опорных элементов — колес, лыж или других устройств, посредством которых самолет соприкасается с поверхностью места базирования (аэродромом), и силовых элементов — стоек, траверс, подкосов и других, соединяющих опорные элементы с конструкцией фюзеляжа или крыла (рис. 1.14).



Рис. 1.12. **Выпуск шасси для посадки**



Рис. 1.13. **Движение самолета по аэродрому**

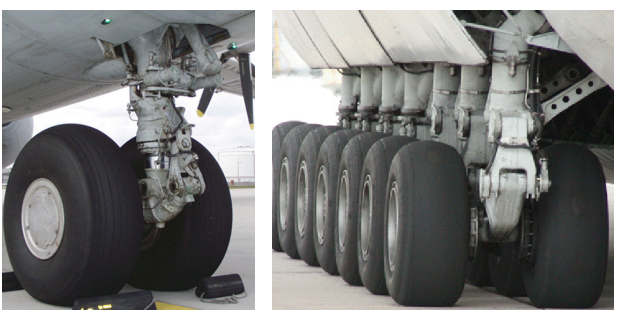

Рис. 1.14. **Опоры шасси**

В конструкцию опор входят амортизационная система и тормозные устройства, которые позволяют:

• воспринимать с помощью шасси возникающие при соприкосновении самолета с аэродромом статические и динамические нагрузки, предохраняя тем самым конструкцию агрегатов самолета от разрушения;

• рассеивать поглощаемую энергию ударов самолета при посадке и рулении по неровной поверхности, чтобы предотвратить колебания самолета;

• поглощать и рассеивать значительную часть кинетической энергии поступательного движения самолета после его приземления для сокращения длины пробега.

В решении этих задач и состоит основное назначение шасси.

1.6. Система управления

Системы управления самолетом можно подразделить на следующие составляющие:

• основную систему управления, предназначенную главным образом для изменения траекторий движения самолета, его балансировки и стабилизации на задаваемых режимах полета;

• дополнительные системы управления, предназначенные для управления двигателями, шасси, закрылками, тормозными щитками, воздухозаборниками, реактивным соплом и др.

Далее для упрощения изложения термин «система управления самолетом» будем относить только к основной системе управления.

Система управления современным самолетом представляет собой совокупность электронно-вычислительных, электрических, гидравлических и механических устройств, обеспечивающих решение следующих задач:

• пилотирования самолета (изменение траекторий полета) летчиком в неавтоматическом и полуавтоматическом режимах;

• автоматического управления самолетом на режимах и этапах полета, предусмотренных тактико-техническими требованиями;

• создания достаточной мощности для отклонения рулевых поверхностей (РН, РВ, элеронов), закрылков, предкрылков, интерцепторов);

• реализации на самолете необходимых (заданных) характеристик устойчивости и управляемости самолета;

• стабилизации установленных режимов полета;

• повышения безопасности полета путем своевременного оповещения экипажа о подходе к опасным режимам полета и выдачи команд на отклонение органов управления, препятствующих выходу на эти режимы.

Для изменения траектории движения самолета в полете нужно изменять действующие на него силы и моменты. Процесс изменения действующих на самолет сил и моментов, создаваемых отклонением в полете органов управления, называется *процессом управления*.

В зависимости от степени участия в процессе управления человека системы управления могут быть неавтоматическими, полуавтоматическими, автоматическими и комбинированными (рис. 1.15).



Рис. 1.15. **Кабина пилотов с приборами и рычагами управления**

Вопросы для самоконтроля

Проверьте себя, отвечая письменно или устно на вопросы. Лишь после этого заглядывайте в приведенные в конце курса комментарии. Если необходимо, обращайтесь к теории.

1. Какие агрегаты относят к несущим поверхностям самолета?
2. Какие агрегаты самолета указаны на рис. 1.16 числами 1—21?

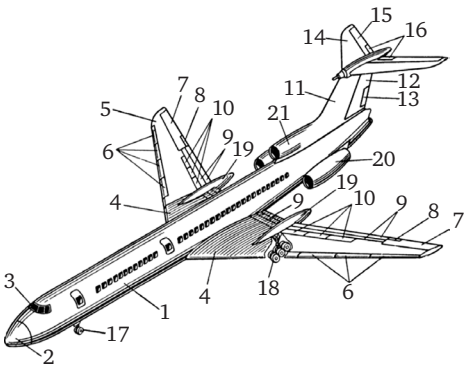

Рис. 1.16. **Основные агрегаты самолета**

3. Какие аэродинамические схемы самолетов представлены на рис. 1.17?

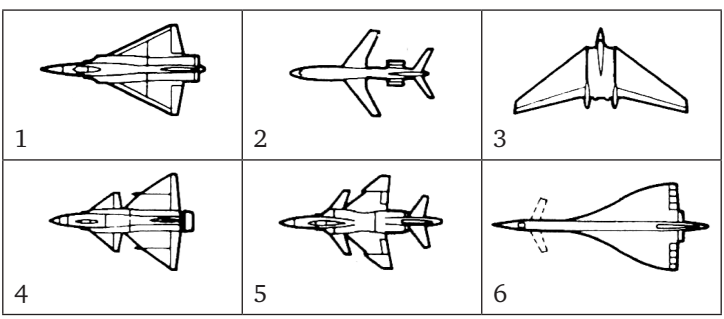

Рис. 1.17. **Аэродинамические схемы самолетов**

4. Каково основное назначение крыла самолета?
5. Каково основное назначение оперения самолета?
6. Каково основное назначение фюзеляжа самолета?
7. Что представляет собой шасси самолета?
8. Каково основное назначение системы управления самолета?

Тема 2
ФЮЗЕЛЯЖ САМОЛЕТА

2.1. Общие сведения о фюзеляже

2.1.1. Назначение фюзеляжа и требования к нему

Фюзеляж самолета предназначен для размещения экипажа, оборудования, целевой нагрузки. В нем могут размещаться топливо, двигатели, шасси и пр. (рис. 2.1). Фюзеляж объединяет в единое целое все основные части самолета и должен отвечать следующим основным требованиям:

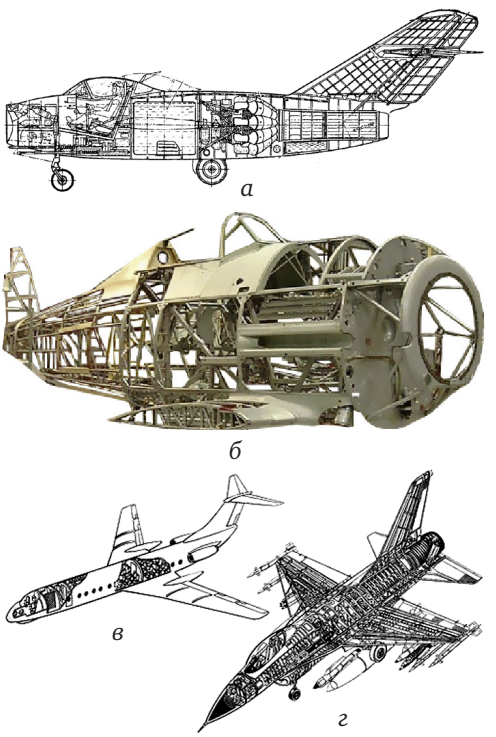

Рис. 2.1. **Примеры компоновок и силовых схем фюзеляжей:**
а — компоновка истребителя 1950-х гг. с размещением двигателя в фюзеляже; *б* — фюзеляж ферменной конструкции спортивного самолета; *в* — гражданский самолет с пассажирской кабиной в фюзеляже; *г* — сверхзвуковой истребитель-бомбардировщик с двигателем в фюзеляже

• иметь минимальное лобовое сопротивление, включая сопротивление интерференции в сочленениях фюзеляжа с другими агрегатами самолета;

• обеспечивать удобное размещение экипажа и требуемый обзор из кабины на всех режимах полета;

• обеспечивать рациональную компоновку оборудования и грузов, а также полное использование внутренних объемов особенно в районе центра масс самолета;

• обеспечивать удобство погрузки-выгрузки и крепления грузов, входа и выхода экипажа, пассажиров, включая аварийное покидание самолета;

• предоставлять хороший доступ к агрегатам и проводкам оборудования с целью их осмотра и ремонта;

• иметь рациональную силовую схему, способствующую уравновешиванию всех нагрузок при минимальной массе конструкции;

• предоставлять необходимые жизненные условия экипажу и пассажирам на больших высотах полета.

Эти требования выполняются при соответствующем выборе внешних форм фюзеляжа, высокой плотности компоновки грузов и оборудования, рациональной компоновке кабин экипажа, грузовых и пассажирских кабин, удобном расположении входных, погрузочных дверей и люков, оптимизации силовой схемы фюзеляжа, тепло- и звукоизоляции кабин и т. п.

2.1.2. Внешние формы фюзеляжа

Наивыгоднейшей формой фюзеляжа является осесимметричное тело вращения с плавным сужением в носовой и хвостовой частях. Такая форма обеспечивает минимальную при заданных габаритах площадь поверхности, а значит, и минимальную массу обшивки, минимальное сопротивление трения фюзеляжа. Круглое сечение тела вращения выгодно по массе и при действии избыточного давления в гермокабинах. Однако по компоновочным и иным соображениям от такой идеальной формы приходится отступать. Так, фонари кабины экипажа, воздухозаборники, антенны радиолокаторов нарушают плавность обводов и приводят к увеличению сопротивления и массы фюзеляжа. Такой же эффект дает и отступление от плавных форм в хвостовых отсеках фюзеляжа с целью увеличения угла опрокидывания φ или для укорочения погрузочного люка и рампы (рис. 2.2).

Поперечное сечение фюзеляжа обычно определяется условиями компоновки грузов, двигателей, пассажирских салонов (рис. 2.3).

Внешние формы фюзеляжа характеризуются следующими геометрическими параметрами:

• $l_ф$ — длина фюзеляжа;

• $d_ф$ — диаметр фюзеляжа;

• $S_м$ — площадь миделевого (наибольшего) сечения фюзеляжа.

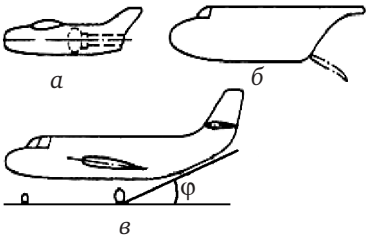

Рис. 2.2. **Факторы, влияющие на форму фюзеляжа:**
а — фонарь кабины экипажа; *б* — люк и рампа для погрузки-разгрузки;
в — угол опрокидывания

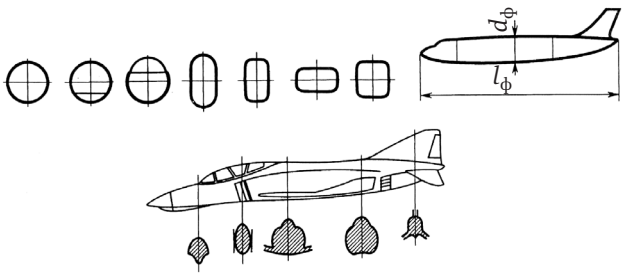

Рис. 2.3. **Различные формы поперечного сечения фюзеляжа**

Удлинение фюзеляжа круглого сечения вычисляется по формуле

$$\lambda_ф = \frac{l_ф}{d_ф}.$$

Для некруглого фюзеляжа имеем

$$\lambda_ф = \frac{l_ф}{d_{фэ}},$$

где $d_{фэ}$ — эквивалентный диаметр фюзеляжа,

$$d_{фэ} = 2\sqrt{\frac{S_м}{\pi}}.$$

2.1.3. Нагрузки, действующие на фюзеляж

В полете и при посадке на фюзеляж действуют следующие нагрузки (рис. 2.4):

• силы, передающиеся на фюзеляж от присоединенных к нему частей самолета — крыла $P_{кр}$, горизонтального и вертикального оперения ($P_{го}$ и $P_{во}$) в виде реакций R_1, R_2 и R_3, R_4 соответственно, шасси, силовой установки и др.;

• массовые сосредоточенные инерционные силы (P_1, P_2, P_3) от агрегатов, грузов, оборудования, расположенных в фюзеляже,

и распределенные инерционные силы от собственной массы конструкции фюзеляжа $q_ф$;

• аэродинамические силы, распределенные по поверхности фюзеляжа;

• силы избыточного давления в герметических кабинах, отсеках оборудования, каналах воздухозаборников.

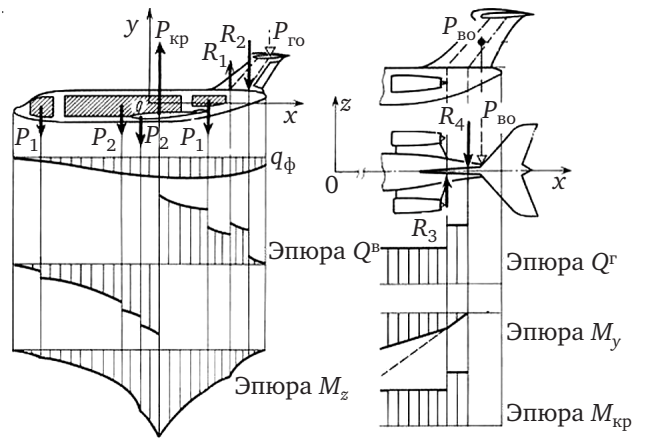

Рис. 2.4. **Нагрузки и эпюры внутренних усилий в фюзеляже**

Все перечисленные нагрузки полностью уравновешены на фюзеляже. При этом с точки зрения строительной механики фюзеляж можно рассматривать как коробчатую балку, закрепленную на крыле и загруженную перечисленными выше нагрузками. В любом сечении такой балки действуют вертикальные и горизонтальные составляющие перерезывающих сил $Q^в$ и $Q^г$, изгибающих моментов M_z, M_y, а также крутящий момент $M_{кр}$. В герметичных отсеках к этим нагрузкам добавляются усилия от избыточного внутреннего давления.

2.1.4. Конструктивно-силовые схемы фюзеляжа

Наиболее рациональной конструкцией, способной воспринимать все перечисленные выше нагрузки при минимальной собственной массе, является тонкостенная пространственная оболочка, подкрепленная изнутри силовым каркасом. Рациональность такой оболочки обеспечивается полноценным использованием ее работающей обшивки как при восприятии местной аэродинамической нагрузки, внутреннего избыточного давления, так и в общей силовой работе, которая состоит в том, что обшивка воспринимает всю перерезывающую силу, весь крутящий момент и участвует в восприятии изгибающих моментов. Подкрепленная силовым каркасом оболочка наилучшим образом удовлетворяет требованиям удобства компоновки, обеспечения технологической простоты, а также живучести

и эксплуатационной технологичности. С точки зрения силовой работы такая оболочка рассматривается как тонкостенная коробчатая балка, вследствие чего силовую схему подобных фюзеляжей принято называть *балочной* (рис. 2.5).

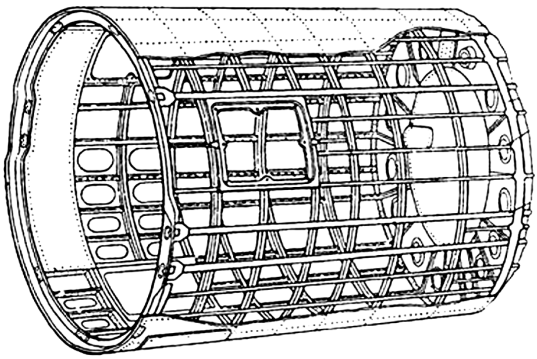

Рис. 2.5. **Балочная конструкция фюзеляжа**

Используемые ранее фюзеляжи ферменной конструкции неизбежно проигрывают балочным по массе конструкции, в связи с тем что обшивка ферменных фюзеляжей полностью исключена из общей силовой работы, она воспринимает только местную воздушную нагрузку и является, таким образом, дополнительным конструктивным элементом, увеличивающим массу конструкции. Пространственная ферма чрезвычайно затрудняет и компоновку грузов в фюзеляже. Все это привело к тому, что ферменные фюзеляжи в настоящее время полностью вытеснены балочными и их применение оправдано лишь на легких тихоходных самолетах малой авиации. Поэтому в данном курсе ферменные фюзеляжи не рассматриваются.

Балочные фюзеляжи делятся на три основные разновидности: лонжеронный, стрингерный и обшивочный фюзеляжи (рис. 2.6):

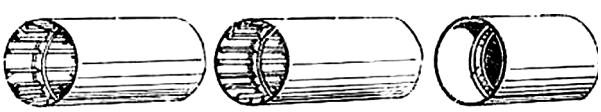

Рис. 2.6. **Разновидности балочных фюзеляжей**

Продольный набор балочного фюзеляжа состоит из лонжеронов и стрингеров. Лонжерон отличается от стрингера формой и большей площадью поперечного сечения. Обшивочный фюзеляж продольного набора не имеет. Поперечный набор фюзеляжа состоит из шпангоутов, обеспечивающих сохранение при деформациях заданной формы поперечного сечения оболочки и передачу на обшивку распределенных и сосредоточенных нагрузок. В местах при-

ложения к фюзеляжу больших сосредоточенных сил устанавливаются усиленные шпангоуты.

В балочных фюзеляжах перерезывающая сила любого направления полностью воспринимается обшивкой, в которой возникает поток касательных усилий. Закон распределения этих усилий по контуру оболочки зависит от направления внешней нагрузки и от формы поперечного сечения фюзеляжа.

Крутящий момент также полностью воспринимается обшивкой. Поток касательных усилий в этом случае равномерно распределен по периметру оболочки, имеющей, как правило, однозамкнутый контур поперечного сечения.

Восприятие изгибающих моментов фюзеляжа определяется типом балочного фюзеляжа (см. рис. 2.6).

В местах вырезов в оболочке устанавливаются силовые окантовки, обеспечивающие передачу всех усилий в зоне выреза.

Балочно-лонжеронный фюзеляж. Изгибающий момент в его конструкции воспринимается осевыми усилиями в лонжеронах, число которых обычно невелико. Обшивка и стрингеры в работе оболочки на изгиб практически не участвуют. Стрингеры в основном служат для местного подкрепления обшивки.

Рассмотрим в качестве примера распределение внутренних усилий в сечении хвостовой части фюзеляжа от внешних нагрузок горизонтального и вертикального оперений $P_{го}$ и $P_{во}$ соответственно (рис. 2.7). Здесь $l_{го}$, $l_{во}$, h — плечи приложения сил от горизонтального и вертикального оперений; $Q^{в}$, $M^{в}$ — перерезывающая сила и изгибающий момент в вертикальной плоскости; $Q^{г}$ и $M^{г}$ — перерезывающая сила и изгибающий момент в горизонтальной плоскости; $M_{кр}$ — крутящий момент; S — осевые силы в лонжеронах, уравновешивающие изгибающие моменты; $\tau_{в}$, $\tau_{г}$, $\tau_{кр}$ — касательные напряжения, уравновешивающие вертикальную и горизонтальную перерезывающие силы и крутящий момент соответственно.

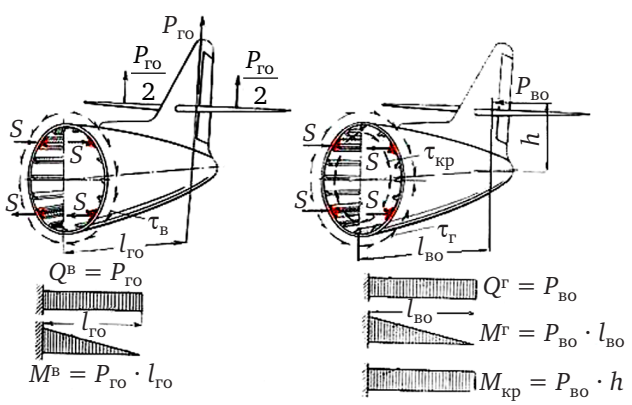

Рис. 2.7. **Распределение внутренних усилий в балочно-лонжеронном фюзеляже**

Балочно-стрингерный фюзеляж. В его конструкции большое количество часто расположенных стрингеров совместно с обшивкой воспринимают весь изгибающий момент, работая на осевые нагрузки растяжения-сжатия (рис. 2.8). Закон распределения нормальных напряжений по периметру оболочки определяется в соответствии с гипотезой плоских сечений при изгибе. Доля изгибающего момента, воспринимаемая обшивкой, определяется ее критическими напряжениями местной потери устойчивости. По сравнению с лонжеронными фюзеляжами, шпангоуты в стрингерных фюзеляжах устанавливаются с меньшим шагом с целью повышения критических напряжений потери устойчивости стрингеров и обшивки.

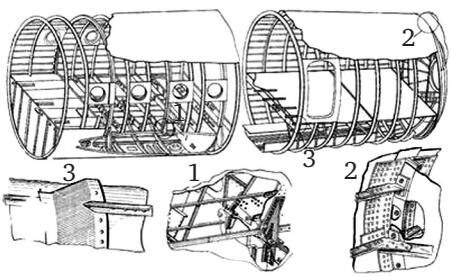

Рис. 2.8. **Силовые схемы стрингерного фюзеляжа:**
1 — в зоне крепления лонжерона крыла; 2 — в зоне шпангоута гермоднища; 3 — в зоне рядового шпангоута

Балочно-обшивочный (бесстрингерный фюзеляж). Он обеспечивает восприятие изгибающего момента только обшивкой, которая в этом случае обычно имеет слоистую конструкцию с заполнителем, что позволяет повысить критические напряжения потери устойчивости. Бесстрингерные фюзеляжи не получили широкого применения из-за трудностей усиления оболочки в зоне вырезов, которых у современных самолетов требуется большое количество.

2.1.5. Конструкция элементов фюзеляжа

Конструкция фюзеляжа представляет собой тонкостенную оболочку, подкрепленную различными силовыми элементами (рис. 2.9).

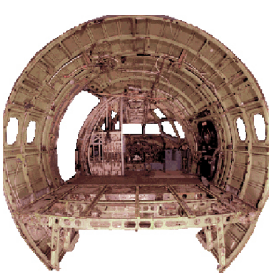

Рис. 2.9. **Силовой каркас фюзеляжа**

Лонжероны и стрингеры. Это продольные элементы каркаса, проходящие, как правило, по всей длине фюзеляжа. Совместно с обшивкой они воспринимают нормальные усилия при изгибе фюзеляжа. Простые стрингеры и лонжероны обычно изготавливают из прессованных или гнутых профилей различного сечения, при этом лонжероны отличаются от стрингеров формой и более мощным сечением профиля (рис. 2.10).

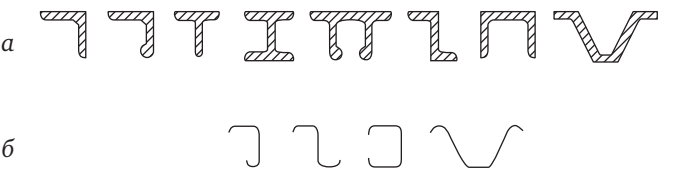

Рис. 2.10. **Формы поперечных сечений продольных элементов каркаса фюзеляжа:** *а* — лонжероны; *б* — стрингеры

При больших нагрузках используют составные лонжероны, состоящие из нескольких соединенных между собой профилей.

Для окантовки больших вырезов в фюзеляже часто применяют лонжероны коробчатого сечения — бимсы, которые состоят из прессованных профилей, связанных между собой стенками и обшивкой (рис. 2.11).

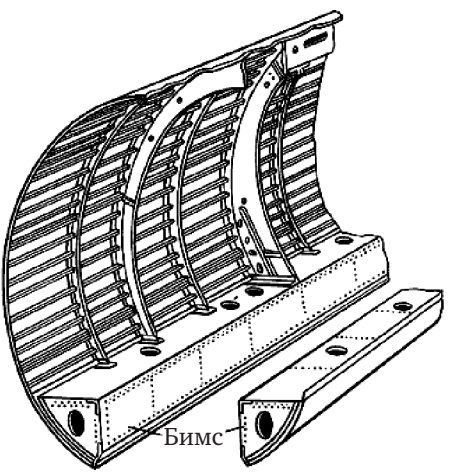

Рис. 2.11. **Лонжероны коробчатого сечения — бимсы**

Шпангоуты. Они делятся на нормальные и усиленные (силовые) шпангоуты. Нормальные обеспечивают сохранение формы поперечного сечения фюзеляжа. Силовые шпангоуты устанавливаются в местах передачи на фюзеляж больших сосредоточенных нагрузок. На них располагаются стыковые узлы агрегатов, узлы крепления грузов, двигателей, крупного оборудования, перегородки гермоот-

секов и т. п. Силовые шпангоуты могут устанавливаться по границам больших вырезов в фюзеляже. Нормальные шпангоуты обычно имеют рамную конструкцию и изготавливаются штамповкой или гибкой из листа (рис. 2.12).

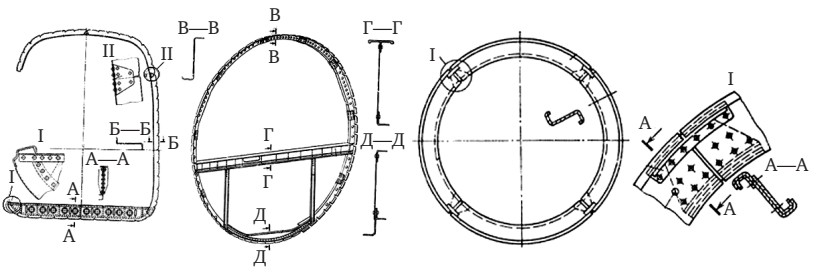

Рис. 2.12. **Нормальные шпангоуты**

Силовые шпангоуты выполняются в виде замкнутой рамы, обычно двутаврового или швеллерного сечения. Рама шпангоута распределяет внешнюю нагрузку по периметру обшивки, поток касательных усилий в которой является опорной реакцией для рамы. Сама рама работает на изгиб, который в основном определяет ее сечение. Кроме того, в любом сечении рамы действуют перерезывающая и нормальная силы. Конструктивно такая рама изготавливается сборной или монолитной. В местах установки перегородок силовой шпангоут полностью зашивается стенкой, подкрепленной вертикальными и горизонтальными профилями, или сферической оболочкой с радиально расположенными подкрепляющими элементами (рис. 2.13).

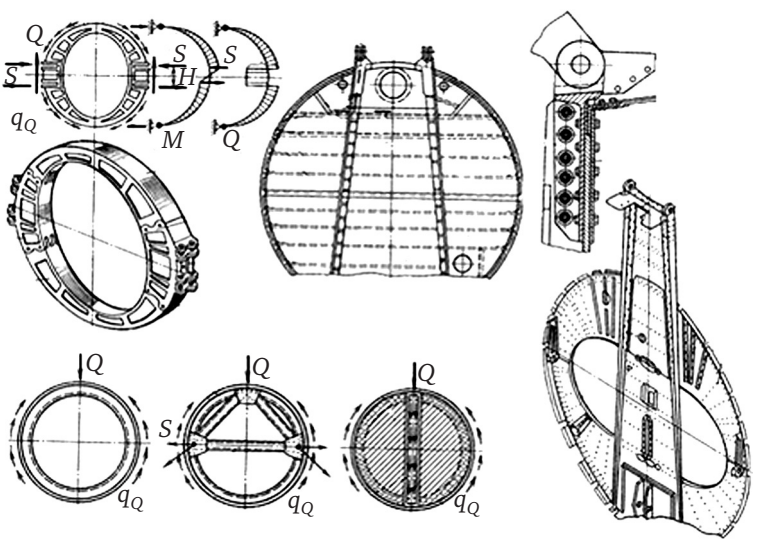

Рис. 2.13. **Силовые шпангоуты**

Обшивка. Она изготавливается из металлических листов, которые формуются по профилю поверхности фюзеляжа и затем крепятся к каркасу. Стыки листов располагаются на продольных и поперечных элементах каркаса. Возможно, особенно для обшивочных фюзеляжей, применение монолитных оребренных панелей и слоистой обшивки с легким, обычно сотовым, заполнителем. В последнее время получает распространение обшивка из композиционных материалов.

Соединение элементов каркаса и обшивки. Возможно три способа соединения обшивки с каркасом:

1) обшивка крепится только к стрингерам;
2) обшивка крепится и к стрингерам, и к шпангоутам;
3) обшивка крепится только к шпангоутам.

В первом случае образуются только продольные заклепочные швы, а поперечные швы отсутствуют, что улучшает аэродинамику фюзеляжа (рис. 2.14). Однако незакрепленная на шпангоутах обшивка теряет устойчивость при меньших нагрузках, что приводит к увеличению массы конструкции. Чтобы избежать этого, часто обшивку связывают со шпангоутом дополнительной накладкой — компенсатором (рис. 2.15).

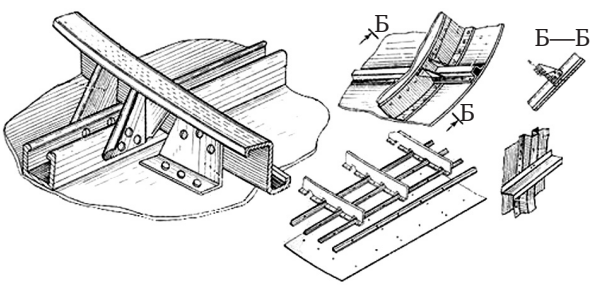

Рис. 2.14. **Крепление обшивки к стрингерам**

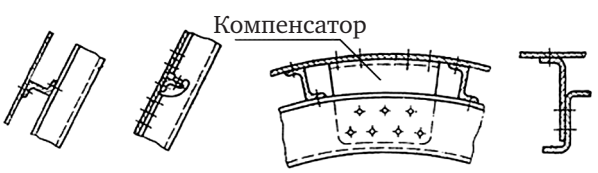

Рис. 2.15. **Крепление обшивки к шпангоуту с помощью компенсатора**

Третий способ крепления используется только в обшивочных (бесстрингерных) фюзеляжах.

Соединение отсеков фюзеляжа. Стыки отсеков фюзеляжа балочно-лонжеронной схемы выполняются с помощью стыковых узлов, расположенных только на лонжеронах, — точечный стык. Конструктивно для этого используются узлы типа «ухо-вилка» или узлы фитинговой схемы (рис. 2.16).

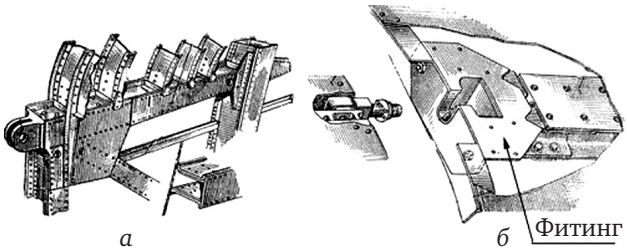

Рис. 2.16. **Стыковые узлы балочно-лонжеронных фюзеляжей:**
а — «ухо-вилка», *б* — фитинг

Балочно-стрингерные фюзеляжи стыкуются по принципу контурного стыка с расположением стыковых фитингов по всему периметру стыкового шпангоута с обязательной силовой связью обшивки и всех стрингеров стыкуемых частей фюзеляжа (рис. 2.17). Балочно-обшивочные фюзеляжи обычно соединяются фланцевым стыком, обеспечивающим силовую связь обшивок стыкуемых частей по всему контуру. Это по сути контурный стык с единым стыковым элементом из уголка, полосы и т. п.

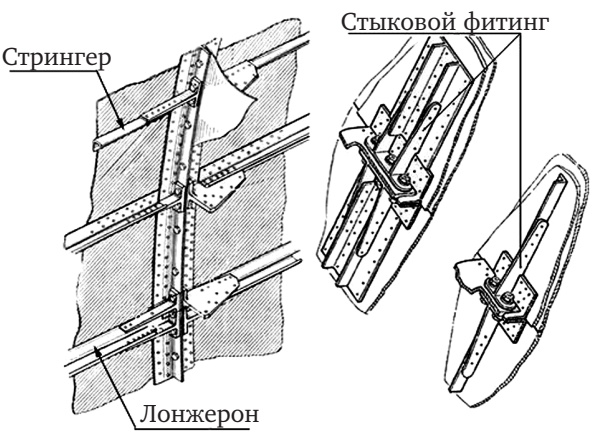

Рис. 2.17. **Стыковка отсеков балочно-стрингерных фюзеляжей**

2.1.6. Крепление агрегатов самолета к фюзеляжу

Узлы крепления агрегатов к фюзеляжу устанавливаются на усиленных шпангоутах, которые выполняют роль жесткого диска, обеспечивая распределение сосредоточенных нагрузок по всему периметру оболочки фюзеляжа. Для передачи сосредоточенных нагрузок продольного направления стыковые узлы агрегатов должны быть связаны с усиленными продольными элементами фюзеляжа. Для уменьшения массы конструкции фюзеляжа всегда желательно уменьшать число усиленных шпангоутов, размещая на одном шпангоуте узлы крепления нескольких агрегатов.

Крепление крыла и стабилизатора. Принципиальной особенностью стыка крыла с фюзеляжем является способ уравновешивания изгибающих моментов консолей крыла в этом стыке. Наиболее рациональным считается уравновешивание изгибающих моментов левого и правого крыла на центроплане, пропущенном через фюзеляж (рис. 2.18). Для лонжеронных крыльев с этой целью достаточно пропустить через фюзеляж только лонжероны, на которых и произойдет уравновешивание изгиба (рис. 2.19).

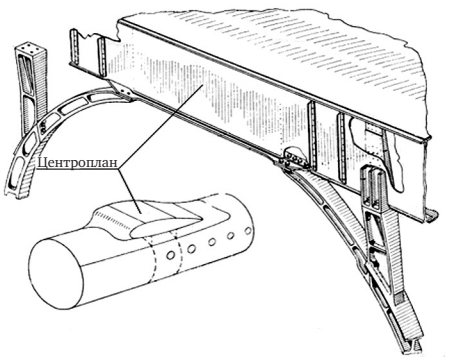

Рис. 2.18. **Крепление центроплана на фюзеляже**

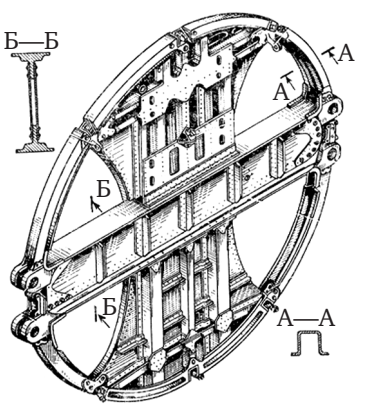

Рис. 2.19. **Усиленный шпангоут с лонжероном**

Для кессонных и моноблочных крыльев через фюзеляж обязательно должны пропускаться целиком все силовые панели крыла (рис. 2.20). В том случае, когда по компоновочным причинам пропуск через фюзеляж силовых элементов крыла невозможен, замыкание изгибающих моментов слева и справа должно выполняться на силовых шпангоутах фюзеляжа. Очевидно, что такое решение применимо лишь для лонжеронных крыльев, у которых число лонжеронов невелико. Кессонные и моноблочные крылья требуют большого числа силовых шпангоутов для замыкания силовых панелей,

что конструктивно выполнить очень трудно. В этом случае следует отказаться от указанных силовых схем крыла и перейти на лонжеронную схему.

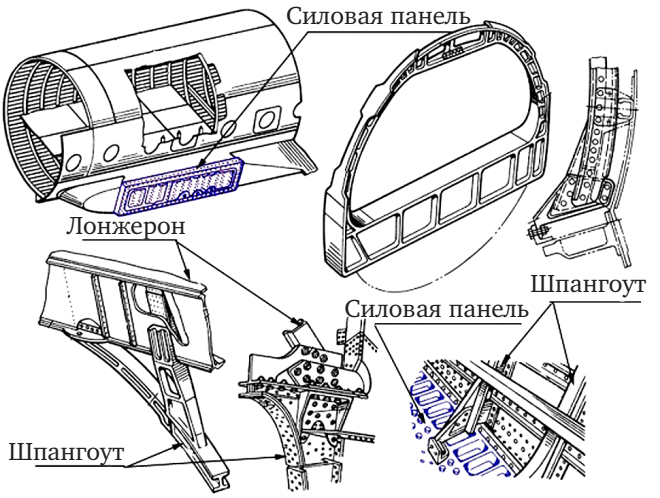

Рис. 2.20. **Крепление кессонного крыла к фюзеляжу**

Перерезывающая сила крыла с каждой его половины должна передаваться на фюзеляж. С этой целью стенки лонжеронов и дополнительные продольные стенки крыла стыкуют с силовыми шпангоутами. На эти же силовые шпангоуты обычно опираются и бортовые нервюры крыла, которые, собирая с замкнутого контура крыла крутящий момент, передают его на эти опорные шпангоуты. Часто для передачи крутящего момента обшивка крыла и фюзеляжа соединяется по контуру стыковочным уголковым профилем.

Крепление стабилизатора к фюзеляжу принципиально ничем не отличается от схемы стыковки крыла. Ось вращения управляемого стабилизатора обычно закрепляется на одном или двух силовых шпангоутах фюзеляжа.

Крепление киля. Крепление киля к фюзеляжу требует обязательной передачи его изгибающего момента на фюзеляж. С этой целью каждый лонжерон киля соединяют с силовым шпангоутом стеночной или рамной конструкции. Если позволяют условия компоновки, то можно использовать мачтовую заделку лонжерона в двух точках, разнесенных по высоте фюзеляжа (рис. 2.21).

Стреловидный лонжерон киля имеет излом в точке пересечения с силовым шпангоутом, что требует обязательной постановки в этом сечении бортовой усиленной нервюры или усиленной балки на фюзеляже. От них можно избавиться, если силовой шпангоут поставить наклонно к оси фюзеляжа так, чтобы его плоскость являлась продолжением плоскости стенки лонжерона киля (рис. 2.22).

Но такое решение вызывает значительные технологические трудности при изготовлении наклонного шпангоута и сборке фюзеляжа.

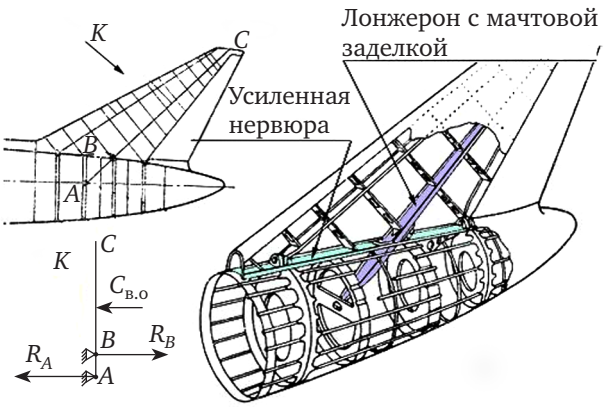

Рис. 2.21. **Крепление лонжеронов киля**

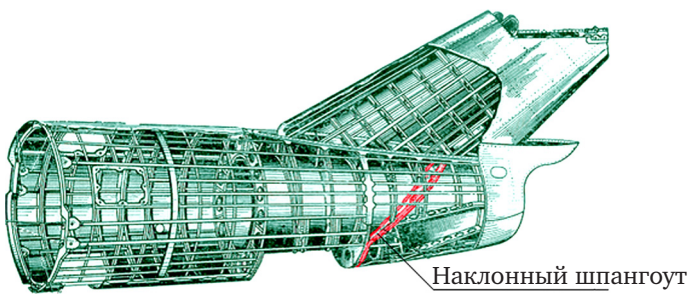

Рис. 2.22. **Использование наклонного шпангоута для крепления лонжерона киля**

Обшивки киля и фюзеляжа обычно соединяются стыковочным уголком по контуру киля.

Крепление шасси и двигателей к фюзеляжу. Крепление двигателей к фюзеляжу осуществляется как внутри к усиленным элементам каркаса, так и снаружи на специальных пилонах. Крепление пилонов к фюзеляжу подобно креплению стабилизатора или крыла.

Крепление шасси выполняется к усиленным шпангоутам и продольным балкам в нижней части фюзеляжа.

2.1.7. Вырезы в фюзеляже

Вырезы под двери, окна, фонари, люки, ниши шасси и боевой нагрузки нарушают замкнутость контура оболочки фюзеляжа и резко снижают ее крутильную и изгибную жесткость и прочность. Компенсировать эти потери можно путем создания по контуру выреза достаточно жесткой рамной окантовки. При малых размерах выреза такая окантовка создается в виде монолитной конструкции, получаемой штамповкой из листа или другими способами изготовления (рис. 2.23).