

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

М. И. ВИЛЬЧЕК

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЗЛОВ СИЛОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*У т в е р ж д е н о
редакционно-издательским
советом института
в качестве учебного пособия*

Вильчек М. И. *Проектирование узлов силовых конструкций летательных аппаратов*. — Куйбышев: КуАИ, 1985. — 64 с.

В пособии рассматривается алгоритм конструктивной проработки узлов силовых конструкций летательных аппаратов. Разбираются сущность и постановка задач по конструированию узлов как одного из этапов проектирования агрегатов и планера в целом, требования к конструкции узлов и пути их удовлетворения, система исходных данных для конструирования, последовательность и содержание этапов конструирования, взаимосвязка конструкции и технологии, требования к оформлению конструкторской документации.

Пособие предназначено для студентов старших курсов факультета «Летательные аппараты», специализирующихся в области конструирования и проходящих целевую интенсивную подготовку (ЦИПС).

Ил. 18, табл. 1, библиогр. — 32 назв.

Рецензенты: С. М. Ег е р, д.т.н. проф., Е. С. В о й т, к.т.н. проф.

В огромном объеме работ по проектированию летательного аппарата (ЛА) конструктивная проработка узлов различных агрегатов и систем не занимает какого-то особого места. Это повседневная работа большой армии собственно конструкторов, т. е. тех, кто занят непосредственно выпуском рабочей конструкторской документации. Но именно в этой будничной работе находят свое конкретное воплощение все ранее принятые решения, и именно ее качеством в значительной мере определяется успех проекта в целом. Объем этого вида работ по некоторым оценкам может достигать семидесяти процентов трудоемкости рабочего проекта [19] и, в то же время, содержание работ наиболее трудно поддается формализации и, как следствие, трудно для освоения.

Методология конструирования рассматривается в данном пособии на примерах узлов каркасных групп планера (корпуса) ЛА. Однако рассматриваемые в нем подходы остаются справедливыми и для других агрегатов, одной из основных функций которых является восприятие и передача на уравнивание эксплуатационных механических нагрузок. Сюда с полным основанием можно отнести опоры шасси, а также механические части системы основного управления, систем привода механизации и т. п.

Под узлом здесь и далее подразумевается фрагмент силовой конструкции агрегата, в котором завязаны воедино несколько различных по назначению и конфигурации деталей, объединенных общей силовой функцией (задачей). В качестве примера (рис. 1) показан узел навески руля высоты на стабилизатор, включающий часть лонжерона *б*, кронштейн навески *1*, часть силовой нервюры *3*, участки обшивок *4* с частями ближайших стрингеров *5*, хвостовую зашивку, крепежные детали *2*. Функциональное назначение всех перечисленных элементов, в целом, различно. В то же время большая часть из них объединена одной общей задачей: обеспечить необходимые углы отклонения руля, а также восприятие и передачу на уравнивание возникающих в шарнире навески усилий. Наличие такой общей задачи и обуславливает выделение узла в качестве самостоя-

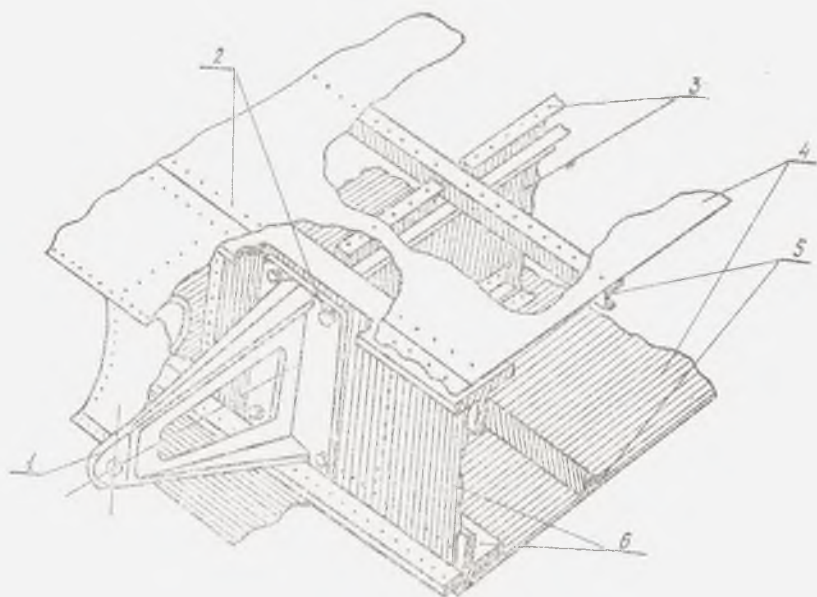


Рис. 1. Узел конструкции стабилизатора: 1 — кронштейн навески руля, 2 — крепеж, 3 — силовая нервюра, 4 — обшивки, 5 — стрипперы, 6 — лонжерон

тельного объекта рассмотрения и разработки. Узел, таким образом, характеризуется решаемой им задачей, общей силовой схемой, составом (перечнем входящих в него деталей), структурой (т. е. взаимным расположением деталей и схемой их силового взаимодействия) и наличием стыков деталей. Формально узел можно определить как выносной элемент сборочного чертежа агрегата.

Содержание работы по конструированию узла состоит в детальной разработке его конструкции, отвечающей предъявляемым к ней требованиям, т. е. в решении «в малом» всех тех вопросов, которые ставятся применительно к агрегату и планеру в целом. Очевидно, что качество проработки узлов во многом определяет последующие эксплуатационные характеристики агрегатов. Именно этим и определяется значимость этого вида работы. Проработка конструкции узла сопровождается необходимыми прочностными расчетами и обоснованиями схемы, состава и структуры узла, а также конфигурации и размеров его деталей. Результаты работы оформляются в виде фрагментов сборочного чертежа агрегата, его спецификации, поддетального расчета, технического описания и технологии. Разработка кон-

струкции узла, таким образом, — это часть более крупной и более общей работы.

При решении любой конструкторской задачи, как впрочем, при решении любой задачи вообще, методология работы определяется ответами на ряд принципиальных вопросов, которые должен решить конструктор.

1. Что, собственно, должен сделать конструктор, какими свойствами и качествами должен обладать конструируемый узел, каким требованиям он должен отвечать?

2. Что должен делать конструктор, чтобы получить нужный результат; какие частные задачи он должен решить в ходе своей работы и какие вопросы при этом обязательно должны оказаться в поле его зрения?

3. В какой последовательности эти частные задачи и вопросы должны ставиться, рассматриваться и решаться для того, чтобы обеспечить успех всей работы?

4. Как делать, какими методами и способами, с использованием каких подходов может быть решена та или иная частная задача, получен ответ на тот или иной частный вопрос?

Таким образом, это вопросы о целях и критериях оценки, о составе и содержании работы (т. е. о расчленении ее на комплекс относительно самостоятельных подзадач), об алгоритме ее выполнения (или о логических связях между различными этапами и подзадачами) и о частных методиках решения отдельных подзадач.

Разумеется, в каждом конкретном случае полный комплекс ответов на эти вопросы определяется спецификой и особенностями разрабатываемого узла. Однако независимо от этой специфики в проработке любого узла силовой конструкции присутствуют общие моменты, общий комплекс и последовательность постановки и решения частных подзадач, общность подходов к их решению, т. е. общая методология. Именно она и является той школой, той азбукой конструирования, которая должна быть предметом изучения и обучения, освоение которой необходимо начинающему конструктору.

Следует заметить, что в реальных условиях КБ работа конструктора, особенно начинающего, по насыщенности ее содержания и по степени детализации этапов может не укладываться в схему, обсуждаемую в пособии. Отличия будут обусловлены, во-первых, тем, что реально конструктор работает в жестких должностных рамках. Многие из обсуждаемых ниже вопросов решаются на других уровнях. Ответы на них конструктор получает в готовом виде как исходные данные для своей работы. В этом плане схема пособия описывает работу некоторой совокупности конструкторов. Далее часть исходной информации,

включающей опыт разработки предшествующих однотипных конструкций и отражающей традиции КБ, конструктор получает в обобщенном виде в форме нормалей предприятия, инструкций, руководств и т. п. В условиях выполнения учебного задания недостаточность такого рода информации приходится компенсировать работой с учебной литературой и нормативно-справочными материалами общего характера. Наконец, некоторой части исходных данных, нужных для увязки конструкции узла с элементами параллельно разрабатываемых оборудования и систем, на начальном этапе работы может просто не оказаться. Вопросы такой взаимной увязки решаются конструкторами разных подразделений уже в ходе работы. В пособии предполагается, что эта группа исходных данных известна с самого начала работы, что является некоторым упрощением.

И последнее. Методология работы конструкторов во многом индивидуальна и формируется окончательно под действием реальных условий работы. Однако, несмотря на все отмеченные отличия, обсуждаемые ниже элементы «школы» при ближайшем рассмотрении обнаруживаются в том или ином виде и комбинациях в работе любого конструктора.

Условия выполнения учебной конструкторской работы в вузе отличаются от реальных уже тем, что работа студента почти всегда от начала и до конца носит индивидуальный характер. В то же время его конструкторская подготовка и мышление должны быть шире уровня, определяемого требованиями первого рабочего места. Все это требует рассматривать содержание конструкторской работы в учебном процессе во всей ее полноте и сложности.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАДАЧИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ УЗЛОВ ЛА

1.1. МЕСТО ПРОЦЕССА КОНСТРУИРОВАНИЯ УЗЛОВ В ПРОЕКТИРОВАНИИ АГРЕГАТОВ

Для лучшего понимания сущности рассматриваемой задачи и места, занимаемого ею в проектировании агрегата, удобно обратиться к укрупненной структурной схеме процесса проектирования агрегата, приведенной на рис. 2.

Как показано на схеме, проработка конструкций узлов (на рис. 2 она выделена) выполняется в конце цепочки проектирования в ходе разработки сборочного чертежа агрегата и директивной технологии его сборки. К моменту проработки узлов уже полностью определена геометрия агрегата (теоретический чертеж), разработана его эскизная схема (чертеж общего вида), приняты основные решения по сборочному чертежу, а также по технологии сборки, а именно: намечено в первом приближении технологическое членение агрегата, определены в общих чертах схема и последовательность его сборки, выбраны основные конструкционные материалы и расчетные допускаемые напряжения для них, определены эксплуатационные нагрузки на агрегат, выполнены проектировочные расчеты на общую прочность и жесткость. По результатам этих расчетов принято распределение жесткостей по основным элементам агрегата, назначены в первом приближении конфигурации и размеры поперечных сечений этих элементов.

В проектировочных расчетах агрегата, как правило, анализируются лишь генеральные пути передачи усилий и генеральное распределение жесткостей, которые, в основном, определяют вес и общую жесткость силовой конструкции агрегата. При этом не прорабатываются и не детализируются: а) стыки силовых элементов, через которые осуществляется передача сил; б) зоны приложения сосредоточенных сил и включения в работу от этих сил основных силовых элементов агрегата; в) зоны вырезов в основных силовых элементах. Не полностью также учитывается характер работы основных силовых элементов при восприятии местных распределенных (воздушных и массовых) нагрузок.

В то же время местная прочность конструкции (и, как следствие, ее ресурс) обеспечивается правильным решением именно этих вопросов.

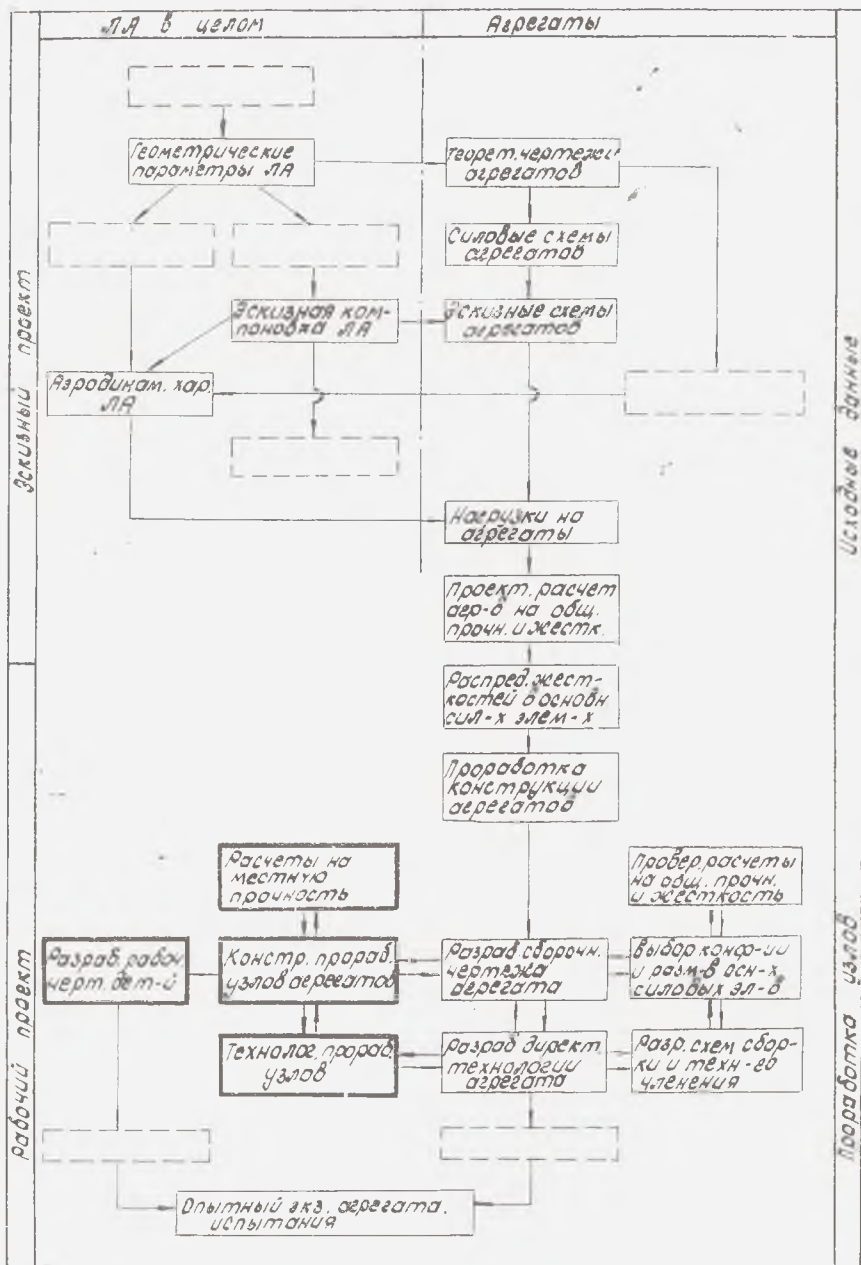


Рис. 2. Место и роль задачи «Проектирование узлов в общей схеме разработки конструкции агрегата»

Решение их, т. е. организация включения в работу основных силовых элементов агрегата и рациональных путей передачи усилий между элементами, как раз и составляет содержание задач по конструктивно-силовой проработке узлов силовых конструкций ЛА. Основной объем таких проработок приходится на стыки конструктивно-силовых элементов, места приложения сосредоточенных сил и зоны вырезов. Доля этих мест в общей трудоемкости конструирования агрегата может достигать 70%. [19].

Таким образом, задача по проектированию узла по отношению к основной конструкции агрегата носит, в известной мере, доработочный характер и состоит в конструктивной детализации ранее перечисленных зон агрегата в соответствии с требованиями, в первую очередь, местной прочности и долговечности. Основные параметры (сечения) конструкции, определяемые прочностью и жесткостью, при проработке узла могут изменяться лишь в сторону усиления.

1.2. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИЯМ УЗЛОВ ЛА. ПУТИ ИХ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Требования к конструкции узла определяют в общем виде необходимую совокупность его свойств, т. е. цель проектирования. Требования должны быть сформулированы конструктором на самой начальной стадии разработки узла на основе имеющихся директивных материалов (НЛГС, НП, РДК и т. п.) и статистических данных по производству и эксплуатации аналогичных узлов с учетом тенденций их развития. В условиях выполнения учебной работы отсутствие статистических материалов должно компенсироваться проработкой учебной и периодической литературы.

По сути, к любой конструкции предъявляются две основные группы требований: функциональные и экономические.

Функциональные требования включают в себя перечень функций, выполняемых узлом; требования к надежности конструкции (т. е. перечень особых ситуаций, в которых узел должен частично или полностью сохранять свою работоспособность), требования к ресурсу. Применительно к конкретному узлу перед началом проектирования конструктор должен полностью уяснить себе назначение узла (компоновочное, силовое, кинематическое); сформулировать геометрические, кинематические, прочностные и жесткостные ограничения на будущую конструкцию; выявить критические для данного узла эксплуатационные ситуации.

Экономические требования к конструкции узла вытекают из экономических требований к ЛА в целом, формулируемым в об-

щем виде как требование максимальной экономической (боевой) эффективности ЛА. Последняя, как известно, пропорциональна производительности ЛА и обратно пропорциональна расходам на его изготовление, эксплуатацию и ремонт. Конструкция конкретного узла может влиять на эффективность ЛА как через его производительность (через вес конструкции и время простоев на обслуживание и ремонт), так и через затраты на ЛА (через стоимость изготовления деталей, сборки узла, его технического обслуживания и ремонта). Комплексные экономические требования на практике сводятся к целому ряду более узких требований, обеспечивающих в сумме высокую экономическую эффективность ЛА, которые кратко рассматриваются ниже.

Требование минимального веса конструкции узла удовлетворяется рациональным выбором силовой схемы узла и его состава; целесообразным выбором конструкционных материалов деталей и их расчетных допускаемых напряжений; обеспечением достаточной прочности и жесткости деталей способами, не требующими существенного увеличения массы за счет придания деталям рациональной формы, использования упрочняющих видов обработки и т. п.

Очевидно, что удовлетворение этого требования не должно наносить ущерба прочности, надежности и долговечности конструкции узла.

Требование технологичности конструкции узла предполагает обеспечение удобства и простоты изготовления деталей и сборки узла с целью снижения трудоемкости и, как следствие, себестоимости его изготовления*. Высокая технологичность должна обеспечиваться (на 70—80% [22, 19]) в процессе проектирования, т. е. содержаться уже в основном замысле конструкции. Этим и определяется органическая связь между конструкцией и технологией.

Применительно к проектируемому узлу технологичность изготовления его деталей будет определяться рациональным выбором материалов и формы деталей; целесообразным выбором конструкторских баз при простановке размеров, предельных отклонений на размеры и чистотой обработки поверхностей; совмещением конструкторских и технологических баз и т. п.

Технологичность сборки узла будет зависеть от степени обеспечения взаимозаменяемости его деталей при образовании сборочных размеров, исключения возможности неправильной сбор-

* Согласно действующим ГОСТам технологическая трудоемкость изготовления и технологическая себестоимость изготовления конструкции являются основными показателями ее технологичности.

ки, удобства подходов для инструмента, возможности использования механизированного инструмента и т. п.

Для более подробного ознакомления с вопросами обеспечения технологичности в процессе проектирования, см. [9 (кн. I, гл. I; кн. II, гл. I), 22 (разд. 2.2 и 2.3), 19], а также [18].

Таким образом, данное требование к конструкции подразумевает, что конструктор с момента начала разработки узла должен иметь в виду конкретные технологические процессы и конкретный инструмент для их осуществления и ориентироваться на них в своей работе.

В то же время следует всегда помнить, что главная задача конструирования — обеспечение эффективности, надежности и долговечности конструкций. Технология «должна всеми имеющимися в ее распоряжении средствами обеспечивать решение основных задач, но не диктовать направление конструирования» [9].

Требование стандартизации и унификации элементов конструкции тесно примыкает к требованию технологичности*, так как оно также направлено, в первую очередь, на снижение трудоемкости и себестоимости изготовления конструкции.

Применительно к узлу выполнение требования сводится к максимально целесообразному использованию стандартных деталей и унификации их типоразмеров. При этом снижается стоимость изготовления узла вследствие массового характера производства стандартных и нормализованных деталей, снижается трудоемкость сборки вследствие более полного обеспечения взаимозаменяемости этих деталей, упрощаются обслуживание и ремонт узла.

Унификации также подлежат посадочные соединения (по номинальному размеру, типам посадок и классам точности), резьбы, шлицевые и шпоночные соединения, номенклатура материалов, виды отделочных операций, системы гальванических и лакокрасочных покрытий, типы сварки, формы сварных швов, фаски, радиусы выточек и галтельных переходов и т. п.

Требование преемственности конструктивных решений предполагает использование в разрабатываемой конструкции как ранее разработанных и испытанных в эксплуатации элементов, так и апробированных подходов и методик конструирования. Всегда необходимо помнить, что использование опыта предшественников позволяет решать частные задачи, возникающие при проектировании с минимальными затратами времени и средств.

* Согласно действующим ГОСТам степень стандартизации и унификации элементов изделия является дополнительным показателем технологичности.

В этом плане для конструктора обязательно изучение опыта как своей, так и смежных отраслей техники, периодической литературы и патентов. По образному выражению П. И. Орлова конструктор постоянно «должен смотреть вперед, оглядываться назад и озираться по сторонам» [9].

Требование эксплуатационной технологичности конструкции предполагает обеспечение ее приспособленности к периодическому контролю состояния и выполнению контрольно-регулирующих, контрольно-крепежных и смазочных работ. При проектировании узла конструктор, таким образом, должен представлять себе характер и примерную периодичность выполнения работ по обслуживанию. Конструкция узла должна обеспечивать как удобство доступа, так и возможность производительного выполнения работ.

С примерным перечнем и характером работ при техническом обслуживании можно познакомиться в книге [28, с. 17—18, с. 100—105]. Там же рассмотрены примеры удачных и неудачных с точки зрения эксплуатационной технологичности конструктивных решений узлов (с. 76—90). Обзор путей обеспечения эксплуатационной технологичности при проектировании приведен в работе [29, гл. V].

Требование ремонтпригодности конструкции обеспечивается возможностью ее разборки, замены вышедших из строя деталей, использования методов неразрушающего контроля; взаимозаменяемостью деталей; введением ремонтных допусков и т. п. Для предварительного ознакомления с характером и организацией ремонтных работ может быть рекомендован учебник [27, гл. 2, 6, 9].

Следует отметить, что, поскольку на долю простоев ЛА при техническом обслуживании и ремонтах приходится до 1/3 всех расходов на 1 ткм [28], требования эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности должны относиться к основным и выполняться конструктором с самого начала проектирования.

Требования надежности и долговечности предполагают обеспечение безотказного функционирования конструкции в течение заданного промежутка времени. На этапе проектирования надежность узла достигается обеспечением местной прочности его элементов. Долговечность конструкции достигается правильным выбором материалов и расчетных допускаемых напряжений, с одной стороны, и использованием методов снижения износа и защиты от коррозии — с другой.

С целью снижения ремонтных простоев и повышения экономической целесообразности ремонтов необходимо стремиться к повышению надежности, долговечности элементов конструкции и их равноресурсности. Следует отметить, что повышение долговечности силовых элементов за счет снижения уровня

эксплуатационных напряжений влечет рост веса конструкции и не всегда может быть экономически оправдано. В некоторых случаях целесообразно проектировать массивную, но легко-съемную деталь на ресурс, равный межремонтному ресурсу планера, и заменять ее при ремонте.

Совершенно очевидно, что правильный учет всех требований при проектировании узла является сложной комплексной задачей. Начинающему конструктору в качестве руководства к действию можно рекомендовать здесь *общие правила конструирования*, сформулированные П. И. Орловым [9, кн. 1, с. 63], направленные на выполнение вышеперечисленных требований.

1.3. СИСТЕМА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Исходные данные, необходимые для проработки конструкции конкретного узла, накапливаются на предшествующих этапах проектирования агрегата и, как следствие, отражаются в целом ряде различных конструкторских документов, т. е. для обеспечения работ по узлу эти данные должны быть выбраны и систематизированы. Система исходных данных включает в себя несколько групп разнородной информации.

Функциональная информация — информация об основных функциях узла, решаемых им в составе агрегата задачах. Эта информация может сразу же продиктовать ряд принципиальных конструктивных решений. Например, может дать ответы на такие вопросы, как: «Требуется ли обеспечивать герметичность стыков деталей, требуется ли постановка подшипников в сочленениях?» и т. п.

Компоновочные данные характеризуют использование внутренних объемов и внешних поверхностей агрегата для размещения элементов оборудования и систем, а также стыковочные поверхности и присоединительные размеры этих элементов. Эта группа информации дополняет предыдущую в части уточнения и детализации назначения узла. В то же время компоновка может накладывать на конструкцию узла дополнительные габаритные ограничения и определять дополнительные местные нагрузки. Эта информация относится к той категории данных, которые на начальной стадии проработки узла могут быть полностью неизвестны и появляются по мере разработки монтажных схем и чертежей систем оборудования ЛА.

Габаритные ограничения — информация о внешней геометрии рассматриваемого фрагмента агрегата (узла). Эта группа данных очерчивает объем пространства агрегата, в который должна быть вписана конструкция узла. Она содержится

в теоретическом чертеже агрегата и, отчасти, в его эскизной схеме (чертеже общего вида агрегата).

Кинематические ограничения определяют, при необходимости, степень подвижности (перемещения, углы поворота) одних элементов конструкции относительно других. Эта группа данных дополняет предыдущую и позволяет, прежде всего, уточнить ограничения на габариты конструкции узла.

Схемная информация — геометрическая информация о взаимном размещении основных силовых элементов (преимущественно их осевых линий) агрегата в зоне рассматриваемого узла. Если узел представляет собой фрагмент стыка двух агрегатов, то сюда же следует отнести геометрическую информацию о взаимном расположении агрегатов и о размещении точек стыковки. Эта группа данных содержится в чертежах общих видов агрегатов и, отчасти, в их теоретических чертежах.

Конструктивно-технологическая информация определяет основные решения, принятые на этапе предварительной разработки сборочного чертежа, а также при разработке чертежа общего вида. Это данные по типу силовой схемы агрегата, по схеме его технологического членения, по материалам, расчетным допускаемым напряжениям, конфигурации, размерам, способам изготовления и исходным полуфабрикатам основных силовых элементов агрегата. В этой группе значительная часть данных также имеет геометрический характер.

Прочностные данные — информация о характере и величинах внутренних усилий в основных силовых элементах агрегата в пределах рассматриваемого узла. В проектировочном расчете на общую прочность и жесткость такая информация может содержаться как в явном (при выполнении расчетов по МКЭ на адекватных конечноэлементных моделях — КЭМ), так и в неявном виде (в форме эпюр нагрузок и обобщенных силовых факторов Q , M_n , $M_{кр}$ для агрегата в целом). Информация нужна для уточнения конфигурации и размеров основных силовых элементов агрегата в зоне рассматриваемого узла.

Эксплуатационная информация определяет необходимость и периодичность доступа к тем или иным элементам узла для их монтажа (демонтажа) или выполнения регламентных работ. Эта группа информации в основном определяет появление в конструкции эксплуатационных лючков. Она также может быть неизвестна на начальной стадии проработки конструкции узла и выявляется в ходе разработки как монтажных чертежей систем, так и эксплуатационной документации.

Расчетные условия для деталей узла включают местные нагрузки, требования по долговечности, эксплуатационные температуры, дополнительные коэффициенты запаса в соответствии с НЛГС и т. п.

Очевидно, что выбор и систематизация исходных данных на проектирование узла сами по себе уже представляют достаточно сложную задачу. От четкости выполнения этого этапа работы (а он, по сути, уже является этапом проектирования узла) во многом будут зависеть как качество результата работы в целом, так и общие сроки ее выполнения. Сложность выполнения этапа определяется многоплановостью и обширностью информации, ее «географической» разбросанностью и, как правило, избыточностью.

В прил. I рассмотрена в качестве примера исходная информация для проработки ряда узлов крыла. Информация представлена уже в частично свернутом и обобщенном виде, но в своей общей части охватывает более двух десятков узлов (показаны на схеме крыла как выносные элементы I—XXV). При рассматривании конкретного узла из нее должна быть сделана соответствующая выборка. Предполагается, как уже отмечалось, что вся информация к моменту проработки известна.

2. ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЗЛА И СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

2.1. ПРОВЯЗКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО УЗЛУ

Собственно конструктивно-силовая проработка узла начинается после выбора системы исходных данных, уяснения и формулировки требований к конструкции. Последовательность чередования основных этапов проработки и преимущественные связи между ними показаны на рис. 3. Первым этапом проектирования является провязка (т. е. объединение в один геометрический образ) всей геометрической информации по узлу. Этап, по сути, является продолжением работы по систематизации исходных данных и поэтому на рис. 3 отдельно не показан. В то же время именно здесь появляются контуры будущего сборочного чертежа. Здесь на будущий чертеж в тонких линиях переносится вся выявленная ранее геометрическая информация. А именно: *проводятся* осп всех силовых элементов основной конструкции в зоне рассматриваемого узла (схемная информация); *нанесются* внешние контуры фрагмента основной конструкции (габаритные ограничения на узел); *размечаются* положения точек крепления (и приложения сосредоточенных сил) ответных агрегатов, контуры и крайние положения (для подвижных) этих агрегатов (компоновочная и кинематическая информация); *прорисовываются* в уже нанесенных осях и габаритах размеры сечений силовых элементов основной конструкции, намечаются размеры исходных полуфабрикатов как ограничения на развитие сечений основных элементов в зоне узла (конструктивно-технологическая информация); *намечаются*, при необходимости, габариты, форма и расположение эксплуатационных лючков (эксплуатационная информация).

Провязка начинается, чаще всего, на плановой проекции узла (выносной элемент сборочного чертежа агрегата) и, по мере надобности, дополняется необходимыми разрезами, сечениями и видами. Выполненная провязка дает возможность перейти к решению основной задачи — к разработке конструкции узла.

2.2. ВЫБОР КОНСТРУКТИВНО-СИЛОВОЙ СХЕМЫ УЗЛА. ВАРИАНТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Основная функция, которую выполняет узел в составе силовой конструкции — это восприятие и передача на уравно-

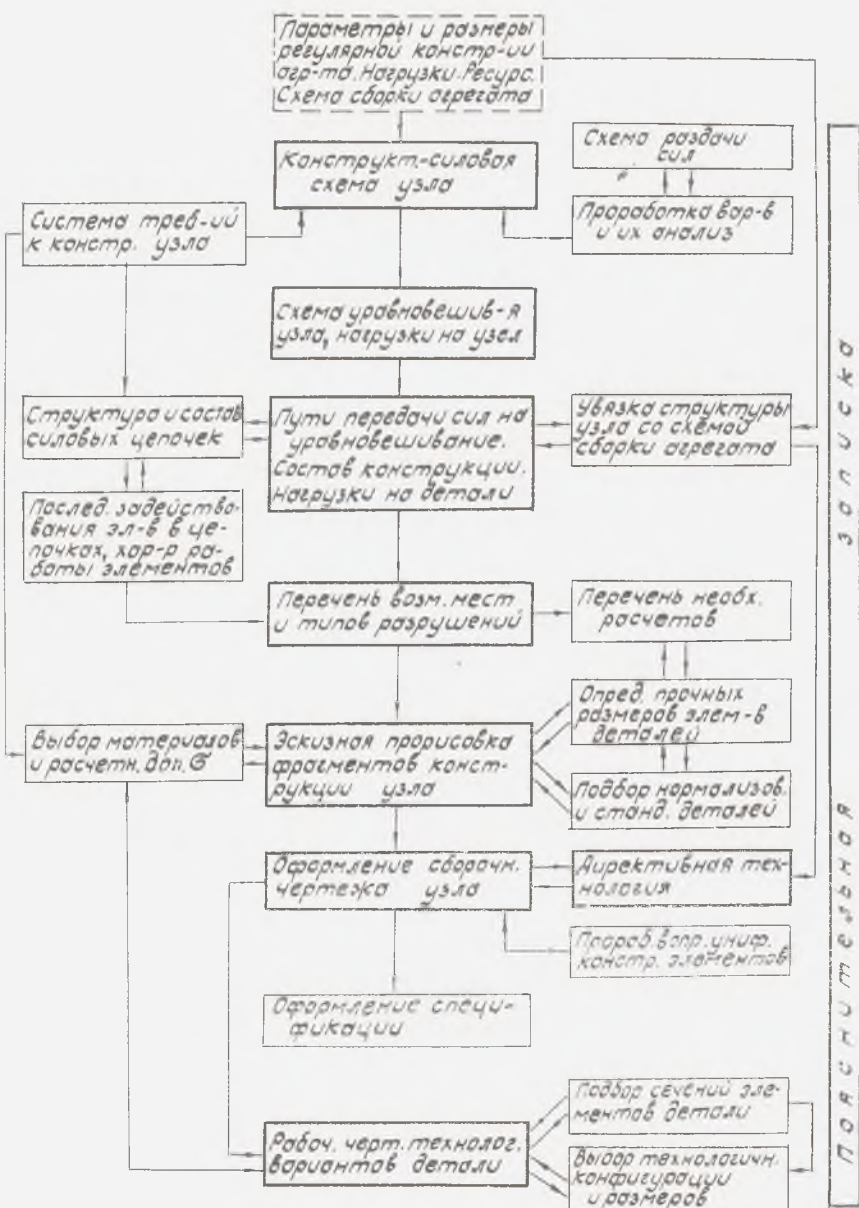


Рис. 3. Структурная модель процесса проектирования узла

вешивание тех или иных сил. Таким образом, первым вопросом, с которым сталкивается конструктор, будет: *какие силы, куда и как нужно передать?* Вторая часть вопроса — это, по существу, вопрос о силовой схеме разрабатываемого узла. Ответ на него дать не просто, особенно в том случае, если в зоне узла есть нагрузки, неучтенные в проектировочном расчете на общую прочность.

На этом этапе работы должны быть предложены и проанализированы 2—3 работоспособных варианта конструктивно-силовой схемы рассматриваемого узла. Задача состоит в выборе типов и расположения конструктивно-силовых элементов узла. В основе этого выбора (в основе решения вопроса «как передать силы?») должна лежать схема раздачи сил, т. е. четкие представления в том, какие силы и куда должны быть переданы.

Содержание этапа, таким образом, — выбор способа восприятия и передачи на уравнивание нагрузок, действующих на узел. Вопрос носит принципиальный характер, так как решение его в значительной мере предопределяет весовую эффективность будущей конструкции. В общем случае выбор схемы узла является задачей оптимального проектирования, например, по уже знакомому критерию оптимальности «минимум силового веса». Как в практике конструирования, так и в учебной работе этот вопрос часто решается приближенно на основе качественного анализа и сравнения вариантов.

При разработке вариантов и их сравнении следует учитывать весь комплекс требований к конструкции узла, заданную схему сборки агрегата в целом и руководствоваться следующими указаниями общего характера. Всегда, когда позволяет конструкция, следует: 1) стремиться к передаче сил кратчайшими путями; 2) избегать передачи сил изгибаемыми элементами, заменяя их более выгодными в весовом отношении элементами, работающими на растяжение, сжатие или срез; 3) минимизировать число звеньев в цепи передачи усилий; 4) использовать, по возможности, для передачи усилий уже имеющиеся конструктивные элементы вместо того, чтобы вводить новые; 5) добиваться компактности (плотной упаковки) конструкции узла.

Содержание и характер работы на данном этапе легко уяснить на примере, разбираемом ниже.

Пример. Пусть требуется (рис. 4) передать на конструкцию крыла сосредоточенную силу P_y , приложенную в некоторой точке A . Такой случай может иметь место, скажем, при креплении под крылом опоры шасси, убирающейся назад в обтекатель поворотом вокруг точки A . Для простоты предположим, что линия действия силы P_y проходит через центр жесткости сечения (пе-

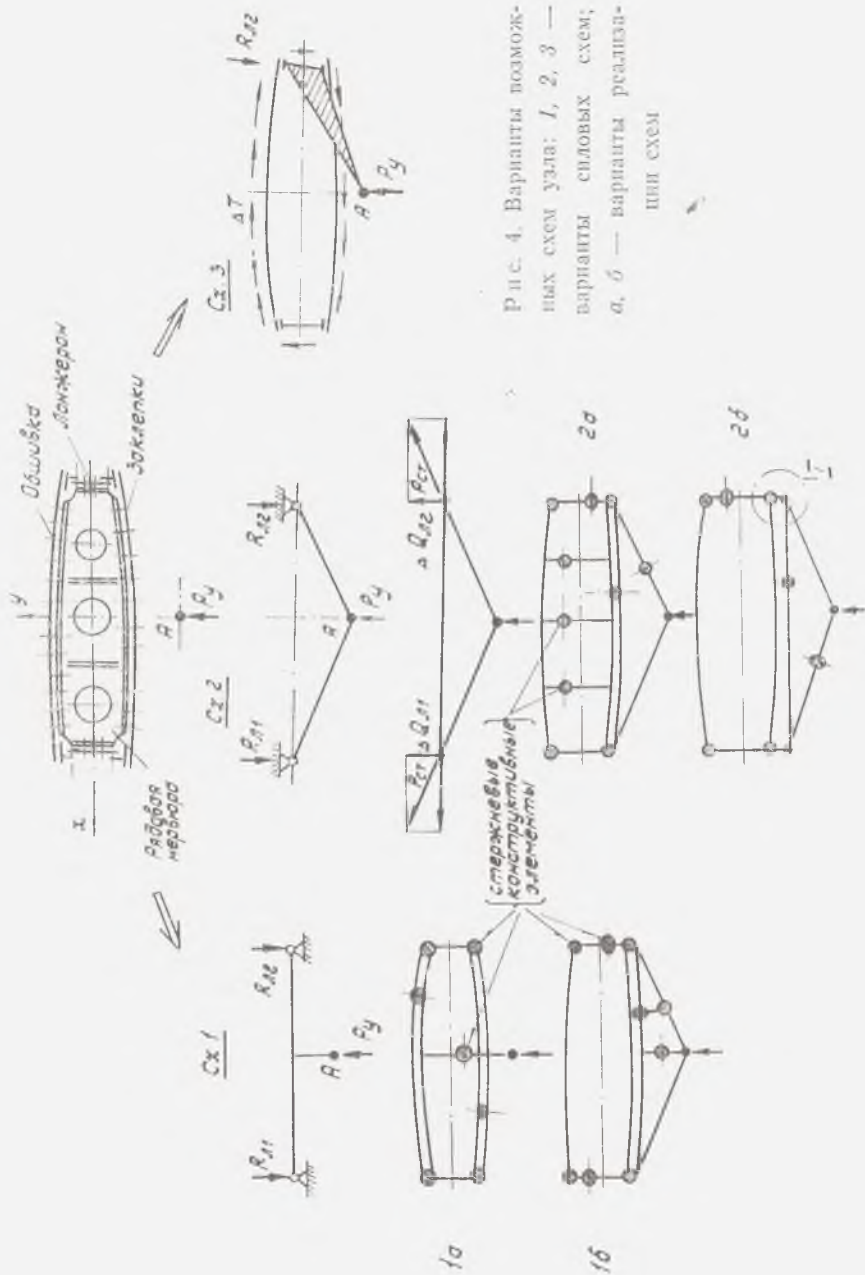


Рис. 4. Варианты возможных схем узла: 1, 2, 3 — варианты силовых схем; а, б — варианты реализации этих схем

ресекает ось жесткости) крыла, т. е. сила P_y не вызывает приращения крутящего момента крыла ($\Delta M_{кр(P_y)} = 0$). В этом случае задача состоит только в восприятии силы P_y .

Сила P_y для крыла в целом является поперечной (перерезывающей) силой и, следовательно, должна быть передана на уравновешивание к борту фюзеляжа стенками лонжеронов. Конструкция узла, таким образом, должна обеспечивать передачу силы P_y на стенки лонжеронов крыла. Передачу силы P_y на стенки лонжеронов можно осуществить двумя путями: либо посредством балки, передав по ней силу в виде перерезывающей, либо посредством фермы, где сила передается в виде вертикальной составляющей сжимающих усилий в стержнях (см. рис. 4, схемы 1 и 2). Третью, в принципе возможную, схему — передачу силы на стенку одного лонжерона с помощью длинного работающего на изгиб кронштейна, — бракуем сразу, как заведомо нерациональную.

Схема 1, в свою очередь, может быть реализована в двух вариантах. Передача силы на стенки лонжеронов может быть выполнена либо усиленной балочной нервюрой (схема 1а) либо самостоятельно выполненной балкой (схема 1б). В обоих случаях для включения в работу от P_y стенки балки необходим вертикальный стержневой элемент, связанный с этой стенкой и с точкой приложения силы. В схеме 1б, кроме того, в местах крепления балки к нижним поясам лонжерона необходимы стойки на стенках лонжеронов, обеспечивающие равномерное включение последних в работу на сдвиг от сосредоточенных сил. В схеме 1а такие стойки могут не понадобиться, так как силы приходят со стенки нервюры уже в виде распределенного потока касательных усилий.

В схеме 2 наличие горизонтальных составляющих, приходящих по стержням усилий $P_{ст}$ требует постановки горизонтального стержня — стяжки по нижнему контуру крыла. Последний может быть реализован либо в виде усиленного нижнего пояса нервюры (схема 2а), либо в виде самостоятельного стержня (схема 2б). В схеме 2а растяжение искривленного пояса нервюры потребует постановки вертикальных стержневых элементов — стоек, разгружающих стенку нервюры от сжатия. В схеме 2б усложняется конструкция узлов типа 1. В обоих случаях необходимы дополнительные стойки на стенках лонжеронов.

Приведенные на рис. 4 варианты не исчерпывают всех возможных вариантов узла. Так, может рассматриваться промежуточный между схемами 1 и 2 вариант с ферменной силовой нервюрой и т. п.

Сравнительный анализ весовой эффективности вариантов может быть сделан путем сравнения их силовых весов. Расчет-

ные формулы, по которым можно подсчитать силовые веса простейших конструктивно-силовых элементов, даны в прил. 2.

Окончательный выбор рабочего варианта схемы для дальнейшей проработки узла делается по согласованию с руководителем.

2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК НА УЗЕЛ. СХЕМА УРАВНОВЕШИВАНИЯ УЗЛА

Очевидно, что любой фрагмент (узел, деталь) конструкции агрегата, испытывающей действие внешних нагрузок, в составе этой конструкции всегда находится в равновесии. Самоуравновешенная система действующих на этот фрагмент сил включает как приложенные непосредственно к нему внешние нагрузки, так и систему реакций (внутренних упругих усилий) прилегающих частей конструкции агрегата. По отношению к мысленно вырезанному из конструкции агрегата фрагменту все эти нагрузки являются внешними. Таким образом, если обрезаемый фрагмент мысленно вырезать из конструкции агрегата и приложить к нему самоуравновешенную систему нагрузок (т. е. полностью воспроизвести условия его работы в составе конструкции агрегата), то этот фрагмент (узел, деталь) можно рассматривать и проектировать как самостоятельный объект.

Представление о сущности схемы уравновешивания какого-либо фрагмента конструкции дает предельно простой пример — уравновешивание участка пояса балки при изгибе ее поперечной силой (рис. 5).

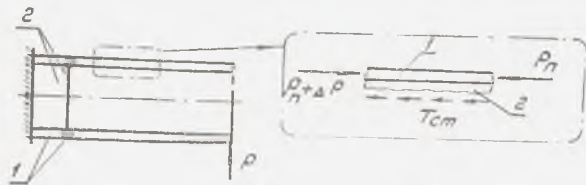


Рис. 5. Схема уравновешивания участка пояса лонжерона: 1 — пояс, 2 — стенка

Задача этапа, таким образом, состоит в выделении полной системы нагрузок, действующих на узел и определяющих сечения его основных элементов (в том числе основных силовых элементов агрегата в зоне узла).

Схема уравновешивания узла разрабатывается для выбранной на предыдущем этапе его силовой схемы и служит основой для дальнейшей проработки конструкции. Она выполняется в форме рисунка «вырезанного» из конструкции агрегата узла

в аксонометрии или в проекциях. На рисунке показываются действующие на узел внешние нагрузки и реакции отсеченных частей конструкции. Рисунок выполняется без излишней детализации, схематично показываются лишь основные конструктивно-силовые элементы узла (силовая схема). Действующие на узел усилия должны быть оценены численно, после чего необходимо выполнить проверку равновесия узла. В зависимости от характера задания исходной информацией для определения усилий являются местные сосредоточенные нагрузки P и эпюры q , Q , M_n , $M_{кр}$ для агрегата или результаты его проектировочного расчета по МКЭ.

В тех случаях, когда проектирование ведется от конечно-элементной модели, используется достаточно подробная КЭМ и учитываются местные нагрузки в зоне рассматриваемого узла, задача этапа сводится к выделению из результатов расчета агрегата самоуравновешенной системы нагрузок на узел и не содержит принципиальных трудностей. Гораздо сложнее приходится конструктору в тех нередких случаях, когда распределение усилий в окрестности узла в подробностях неизвестно, и есть местные нагрузки, неучтенные в общем расчете агрегата. Конструктор в такой ситуации вынужден действовать на уровне правдоподобных допущений, базирующихся на знании строительной механики и на своем понимании силовой работы конструкции. Приводимый ниже пример дает представление о характере работы на этапе в такой ситуации.

Пример. Рассматривается показанная на рис. 6 средняя часть силовой нервюры в случае приложения сосредоточенных нагрузок P_y и P_x и действия на обшивки избыточных давлений ΔP_v и ΔP_n . Для простоты, как и в предыдущем случае (см. разд. 2.2), считается, что линия действия силы P_y пересекает ось жесткости, и что крыло не имеет стрингеров. Предполагается также, что нагрузки P_y и P_x выявлены на поздних этапах проектирования и в общем проектировочном расчете крыла не учитывались.

Силовая схема узла (см. рис. 6,а) включает кронштейн 6; балочную силовую нервюру с поясами 3 и стенкой 2; стойки 4 на стенке нервюры, обеспечивающие передачу на стенку сосредоточенных сил с кронштейна. При построении схемы уравнивания узла используем принцип суперпозиции, т. е. рассматриваем отдельно схемы уравнивания каждого из внешних усилий с последующим наложением этих схем*.

* Студент, хорошо владеющий материалом курсов «Строительная механика самолета» и «Расчет самолета на прочность», может пропустить ниже следующее обсуждение и сразу перейти непосредственно к рассмотрению схем на рис. 6,б, 7, 8, 9, 10.

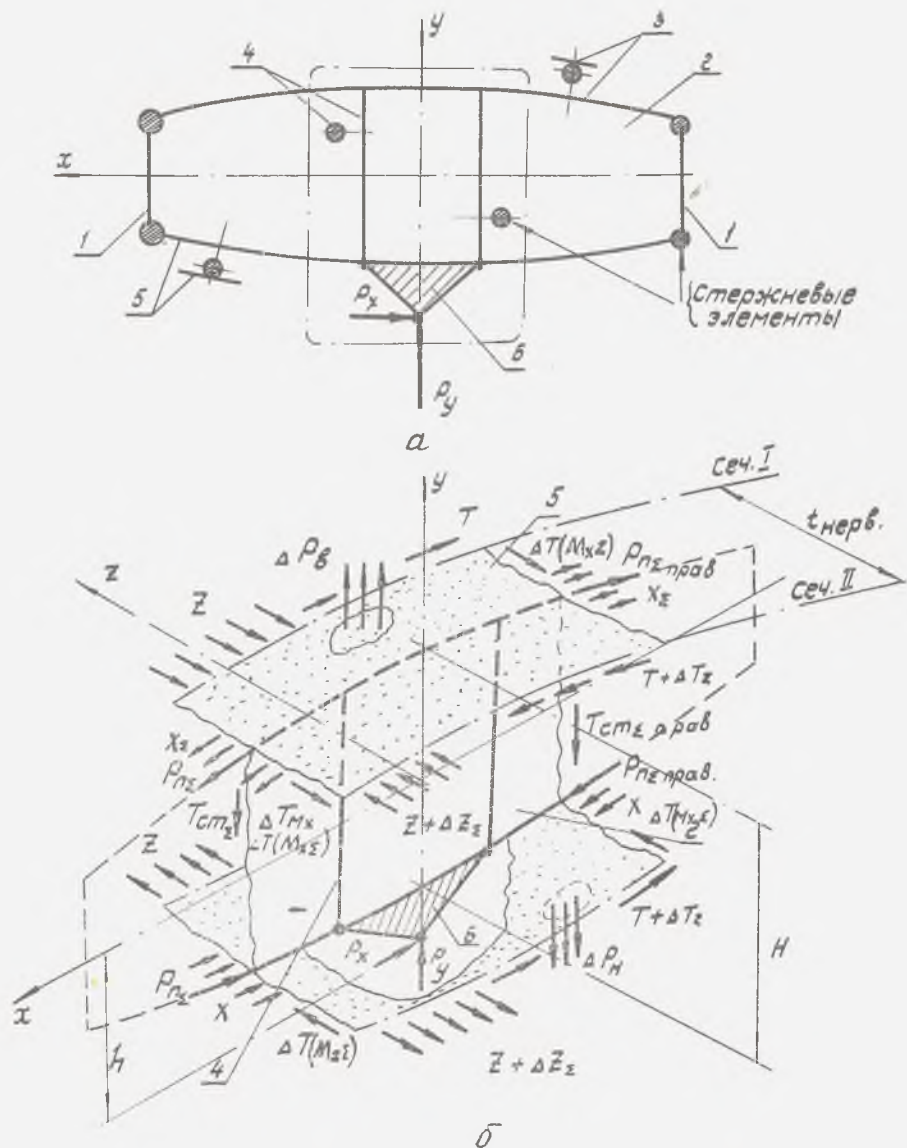


Рис. 6. Схема уравнивания узла: а — силовая схема узла: 1 — лонжероц, 2 — стенка нервюры, 3 — пояса нервюры, 4 — стойки, 5 — обшивка, б — кронштейн; б — нагрузки на узел

1. Рассматриваем уравнивание узла при работе его в составе конструкции крыла, но в отсутствие сил P_y и P_x , т. е., пока рассматриваем уравнивание фрагмента не с силовой, а с обычной рядовой нервюрой. Со стороны отброшенной консольной части крыла на обшивку узла действуют, как показано на рис. 7, нормальное погонное усилие Z , определяемое изги-

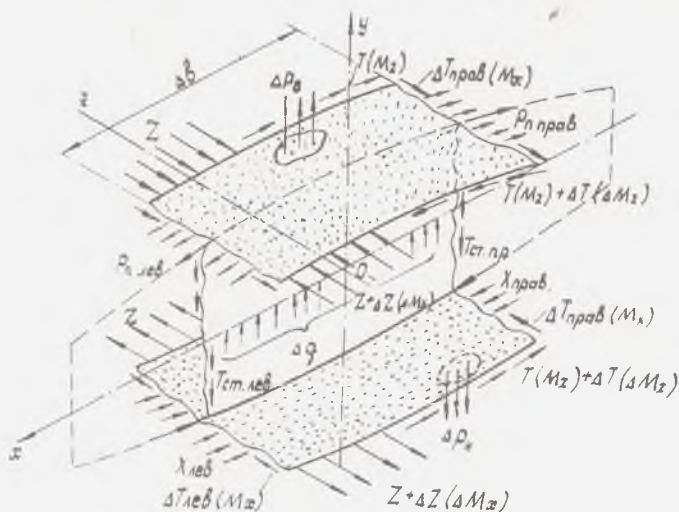


Рис. 7. Схема уравнивания узла в отсутствие сосредоточенных нагрузок

бающим моментом крыла M_x в этом сечении, и погонное касательное усилие T , определяемое общим крутящим моментом M_z в сечении. При наличии для крыла эпюр M_x и M_z определение величин этих усилий не представляет трудностей. Эти силы вызывают противоположно направленные упругие реакции T и $Z + \Delta Z$ со стороны обшивки бортовой части крыла. Приращение ΔZ обусловлено приращением изгибающего момента в пределах узла и также легко может быть определено.

Поперечные воздушные нагрузки ΔP_v и ΔP_n , приложенные к обшивкам, частично самоуравниваются в стенке нервюры. Их неуравновешенная разность определяет часть погонной поперечной нагрузки Δq , воспринимаемую стенкой нервюры и передаваемую ею на стенки лонжеронов. В пределах узла эта несамоуравновешенная часть воздушной нагрузки величиной $\Delta q = (\Delta P_v - \Delta P_n) \Delta S$ уравнивается реакциями (перерезывающими силами) в стенках нервюры $Q_{ст.лев} = T_{ст.лев} H$ и $Q_{ст.прав} = T_{ст.прав} H$. Величины этих перерезывающих сил (и, соответственно, потоков касательных усилий) в стенке могут

быть найдены из эпюры перерезывающих сил в нервюре при рассмотрении последней как балки, опертой на лонжероны и нагруженной распределенной по хорде нагрузкой q .

При раздаче стенкой нервюры поперечной силы q на стенки лонжеронов нервюра работает на изгиб. В ее поясах возникают усилия P_{ni} , а в присоединенной к ним обшивке — нормальное погонное усилие X_i . Эти усилия (см. рис. 7) также легко могут быть найдены по значениям изгибающих моментов в нервюре, взятым с соответствующей эпюры. Отметим, что полученная пока система сил, действующих на узел, — самоуравновешенная по осям ox , oy и oz , а также по M_y . В силу того, что равнодействующая q распределенной по хорде нагрузки не пересекает в общем случае ось жесткости крыла, стенка нервюры нагружает замкнутый контур приращением крутящего момента ΔM_z в виде внутреннего для узла потока касательных усилий ΔT (ΔM_z). Для простоты будем считать (как это делалось в предшествующих курсах) стенку нервюры достаточно жесткой, а поток ΔT (ΔM_z) — постоянным по контуру. В обшивке крыла со стороны борта фюзеляжа возникает, соответственно, противоположно направленный реактивный поток (см. рис. 7)

$$|\Delta T (\Delta M_z)| = \Delta M_z / 2 \Omega .$$

Величина этого погонного усилия может быть определена из эпюры крутящих моментов для крыла в целом. Эти усилия уравнивают узел и ранее выявленную систему сил по моменту M_z .

Осталось рассмотреть уравнивание узла по моменту M_x , где неуравновешенная пока составляющая определяется усилиями ΔZ (ΔM_x) и равна $\Delta b H \Delta Z$ (ΔM_x). Для этого нужно вспомнить, что включение обшивки в работу на растяжение (сжатие) при изгибе крыла обеспечивается потоками касательных усилий T (M_x) в обшивке, приходящими на нее со стороны поясов лонжеронов. Усилия эти при известном (или принятом) соотношении нормальных жесткостей поясов лонжеронов и панелей обшивки и при наличии эпюр M_x или Q для крыла легко могут быть определены. Далее, допуская (как это делалось в предшествующих курсах), что закон изменения этих усилий по хорде на участке между лонжеронами линейный, можно найти усилия $\Delta T_{лев}$ (M_x) и $\Delta T_{прав}$ (M_x), действующие на обшивку узла, и уравнивание его по моменту M_x (см. рис. 7).

Теперь схема уравнивания узла в рассмотренном случае нагружения сформирована окончательно (см. рис. 7). Разумеется, касательные усилия в обшивках подчиняются закону парности: со стороны консоли в обшивке действуют переменные по хорде усилия T (M_z) + ΔT (M_x), а по другую сторону нер-

вюры — усилия $T(M_z) + \Delta T(M_z) + \Delta T(M_x)$. На схеме они показаны отдельно и только на тех сторонах элемента обшивки, которые нужны для рассмотрения равновесия.

2. Уравновешивание узла при действии на него только силы P_y , также являющейся поперечной нагрузкой, как видно из рис. 8, в принципе ничем не отличается от рассмотренного выше.

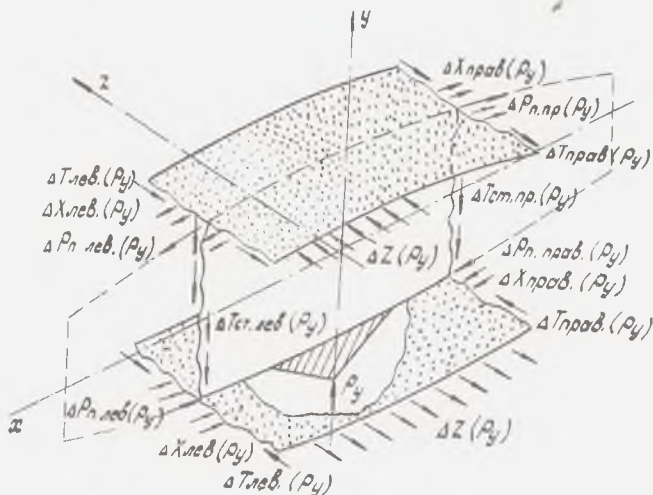


Рис. 8. Схема уравновешивания силы P_y .

Сила P_y как и Δq уравновешивается перерезывающими силами в стенке нервюры в виде потоков касательных усилий $\Delta T_{ст\ лев}(P_y)$ и $\Delta T_{ст\ прав}(P_y)$. Вследствие изгиба нервюры под действием силы P_y в ее поясах и в присоединенной к ним обшивке возникнут усилия $\Delta P_{н\ лев}(P_y)$, $\Delta X_{лев}(P_y)$, $\Delta P_{н\ прав}(P_y)$ и $\Delta X_{прав}(P_y)$. Если сила P_y значительна, то эти усилия могут превосходить ранее рассмотренные силы в регулярной конструкции и определять усиления как нервюры, так и обшивки в зоне ее стыка с нервюрой.

Приращение момента изгибающего $\Delta M_x(P_y) = P_y \cdot 0,5 t_{нерв}$ в пределах узла вызывает в обшивке со стороны борта реактивные нормальные усилия $\Delta Z(P_y)$, а также связанные с ними (см. выше) дополнительные потоки касательных усилий $\Delta T_{лев}(P_y)$ и $\Delta T_{прав}(P_y)$. Эти силы могут потребовать усиления регулярной обшивки как в зоне узла в целом, так и в зонах ее стыков с другими элементами конструкции.

3. Уравновешивание узла при действии на него силы P_x зависит от особенностей его конструктивно-силовой схемы и выполняется несколько сложнее. Лобовая сила P_x на рис. 9,а в

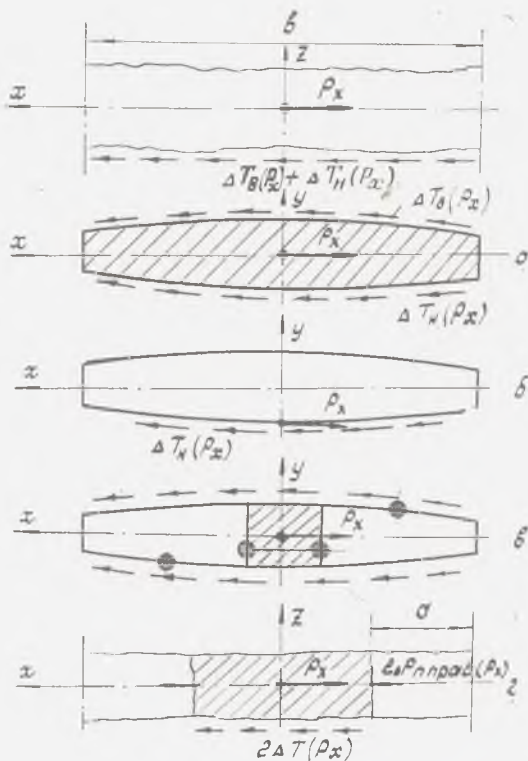


Рис. 9. Схема уравнивания усилия P_x

велем передается на обшивку крыла, которые в этом случае играют роль стенок, и на некотором удалении от нервюры уравнивается потоками касательных сил в обшивках $\Delta T_B(P_x)$ и $\Delta T_H(P_x)$. При этом

$$\Delta T_B(P_x) + \Delta T_H(P_x) = |P_x| \quad \text{и} \quad \Delta T_B(P_x) = \Delta T_H(P_x).$$

Однако в непосредственной близости от нервюры в распределении силы P_x по обшивкам возникает известная неопределенность: реально сила P_x приложена через крепежные элементы кронштейна к нижнему поясу нервюры. При очень (в пределе — абсолютно) податливой на сдвиг стенке нервюры последняя не сможет передать эту силу на верхнюю обшивку. Сила P_x в этом случае распределится нижним поясом нервюры только на нижнюю обшивку (см. рис. 9,б). Причем у равнове-

шивающий поток $\Delta T_{\text{н}}(P_x)$ в обшивке будет равномерным (без концентрации усилий в местах приложения сил к поясу) только при абсолютно жестком нижнем поясе нервюры. В этом случае

$$\Delta T_{\text{н}}(P_x) = P_x / b \quad \text{и} \quad \Delta T_{\text{в}}(P_x) = 0.$$

При наличии абсолютно жесткой на сдвиг стенки нервюры (и одинаковых сдвигах жесткостей обшивок) сила будет уравниваться сразу равными усилиями в $\Delta T_{\text{вн}}(P_x) = 0,5 P_x$ в обшивках, как это показано на рис. 9,а, т. е.

$$\Delta T_{\text{вн}}(P_x) = P_x / 2b.$$

Очевидно, что любая реальная ситуация (конечные жесткости стенки и поясов нервюры) лежит внутри сделанных оценок, т. е. усилия $\Delta T_{\text{в}}(P_x)$ и $\Delta T_{\text{н}}(P_x)$ в обшивках в непосредственной близости от нервюры не постоянны по хорде и не равны между собой

$$P_x / b > \text{ср} \Delta T_{\text{вн}}(P_x) > P_x / 2b \quad \text{и} \quad \Delta T_{\text{н}}(P_x) \neq \Delta T_{\text{в}}(P_x).$$

В этом случае принятие определенной схемы раздачи силы должно основываться на разумных допущениях, которые, в свою очередь, могут предопределять конструктивные решения. Например, допущение о равенстве и постоянстве касательных усилий в обшивках $\Delta T_{\text{н}}(P_x)$ и $\Delta T_{\text{в}}(P_x)$ может быть справедливым либо при постановке достаточно жесткой на сдвиг нервюры, либо при постановке жесткой вставки (см. рис. 9,в) — объединении стоек 4 вместе с частью стенки между ними в жесткий фиттинг в сочетании с достаточно жесткими поясами нервюры.

При таком допущении (и соответствующем конструктивном его подкреплении) уравнивание силы P_x в пределах рассматриваемого узла осуществляется касательным усилием $2 \Delta T(P_x) \Delta b$ в обшивках со стороны корневой части крыла и четырьмя нормальными усилиями $\Delta P_{ni}(P_x) = \Delta T(P_x) \cdot a_i$ в поясах нервюры (см. рис. 9,г).

Приращение крутящего момента $\Delta M_z(P_x) = P_x h$ на рис. 10 в простейшем случае (неработающий носок крыла) уравнивается упругим моментом обшивки со стороны борта — $\Delta M_z(P_x) = \Delta_1 T(P_x) 2 \Omega$ (см. рис. 10,а. Здесь Ω — площадь контура межлонжеронной части крыла). Поток касательных усилий $\Delta_1 T(P_x)$ в обшивке постоянен по контуру также лишь на некотором удалении от нервюры. В непосредственной близости от нее допущение $\Delta_1 T(P_x) = \text{const}$ справедливо лишь при

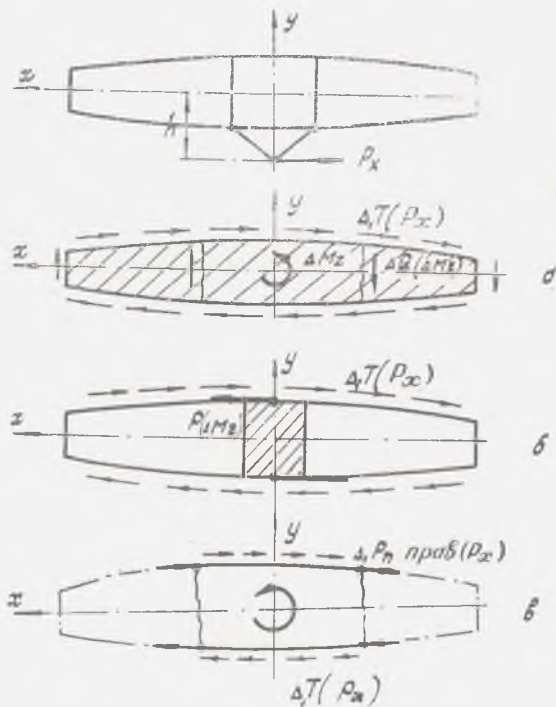


Рис. 10. Схема уравновешивания приращения момента $\Delta M_z(P_x)$

абсолютно жесткой на сдвиг нервюре. При жестком фитинге, передающем момент на абсолютно жесткие пояса нервюры в виде пары сил (см. рис. 10,б), и относительно податливой стенке нервюры поток $\Delta_1 T(P_x)$ в обшивках будет несколько больше, чем в стенках лонжеронов, т. е. не будет постоянным по контуру

$$\frac{P_x h}{H b} > \Delta_1 T_{\text{общ}}(P_x) > \frac{P_x h}{2 \Omega}.$$

Уравновешивание узла по $\Delta M_z(P_x)$ в конечном счете происходит частично моментом $\Delta_1 T_{\text{общ}}(P_x) \Delta b H$ касательных в обшивке, а частично — либо моментами $2 \Delta_1 P_{II}(P_x) H$ пар сил в поясах нервюры, либо моментом $\Delta T_{\text{ср}}(P_x) H \Delta b$ пары перерезывающих сил в стенке нервюры. В реальной ситуации, очевидно, должно иметь место и то, и другое (см. 10,в,а). После суммирования трех полученных систем сил в единую схему уравновешивания (см. рис. 6) последняя должна отвечать условиям равновесия по всем шести степеням свободы.

Заключившая рассмотрение примера заметим, что для выявления и определения величин усилий, действующих на узел, постоянно приходилось выходить за пределы собственно узла, т. е. рассматривать более общий фрагмент крыла и более общую систему нагрузок на крыло. Очевидно также, что построение схемы уравнивания узла требует глубокого понимания работы конструкции агрегата в целом.

Таким образом, содержание раздела в этом случае состоит в значительной мере в выборе приближенной схемы распределения и передачи усилий внутри узла его силовыми элементами, т. е. в приближенном (волевом) раскрытии статической неопределенности схемы узла. Такой подход здесь является вынужденным, так как строгое раскрытие статической неопределенности возможно лишь при поверочном расчете после разработки конструкции. Задача конструктора здесь — опираясь на опыт разработки аналогичных узлов, назначить такую схему раздачи сил, которая после поверочного расчета не потребовала бы существенной переработки конструкции. Ответственность конструктора тем более высока, что в значительной части случаев по соображениям сроков и экономии узлы не подлежат поверочному расчету, и проектировочный расчет для них является окончательным. В практике КБ надежность таких расчетов обеспечивается совместным решением этих вопросов конструкторскими бригадами и бригадой прочности. Как показано в приведенном примере, разработка схемы уравнивания узла сопровождается дальнейшим уточнением и детализацией его схемы.

Допущения и погрешности, вводимые при приближенном раскрытии статической неопределенности узла, должны быть четко оговорены в соответствующем разделе пояснительной записки и учтены при последующей проработке конструкции.

Успех работы на данном этапе во многом определяется правильным использованием принципа суперпозиции (наложения) нагрузок. При назначении окончательной схемы раздачи сосредоточенных сил в узле большое значение также имеет правильное представление о влиянии на эту схему деформативности (жесткости) основных силовых элементов узла. В понимании этого вопроса может существенно помочь метод крайних оценок.

В заключение раздела следует заметить, что при проектировании от КЭМ с использованием методов оптимизации распределения материала в конструкции два вышерассмотренных этапа проработки конструкции (выбор схемы узла и определение нагрузок на узел) фактически сливаются. При этом неопределенности как в выборе схемы, так и в оценках величин усилий практически исчезают.

2.4. ПРОРАБОТКА ПУТЕЙ ПЕРЕДАЧИ УСИЛИЙ НА УРАВНОВЕШИВАНИЕ. СОСТАВ И СТРУКТУРА КОНСТРУКЦИИ УЗЛА, НАГРУЗКИ НА ДЕТАЛИ

Данный этап является, по существу, основным этапом разработки сборочного чертежа узла. Суть этапа — дальнейшая детализация конструкции в соответствии с общим направлением проработки «от общего к частному». Здесь схема узла расчленяется на отдельные силовые цепочки*, намечается их состав, уточняется последовательность передачи усилий элементами цепочек (детальями) и их назначение. Структура и количество таких цепочек фактически уже определены на предыдущем этапе. В рассмотренном примере (раздел 2.3) такими цепочками являются $q \rightarrow -\Delta Q_{ст} (q)$; $P_y \rightarrow -\Delta Q_{ст} (P_y)$ и т. п.; по сути, на этом этапе формируются состав и структура конструкции узла, которая чертится здесь в тонких линиях или на уровне осевых линий деталей. После того, как намечена конструкция узла, определяется система нагрузок на каждую деталь (выполняется их уравнивание внутри цепочек).

Задачей этапа, таким образом, является конструктивное обеспечение передачи сил от мест их приложения к местам уравнивания. Поскольку такая передача может быть осуществлена различными способами, проработка конструкции на данном этапе ведется на основе просмотра вариантов. Цель проработки — максимальное удовлетворение ранее сформулированных требований. С целью снижения веса конструкции здесь, как и раньше, следует стремиться к передаче усилий по кратчайшим путям и к сокращению числа звеньев (деталей) в цепочках. Необходимо также учитывать возможность пересечения цепочек, т. е. использования одного и того же конструктивного элемента в нескольких цепочках. Последовательность выполнения этапа следующая: а) в соответствии с разработанной схемой уравнивания узла выписывается перечень силовых цепочек; б) прорисовываются в первом приближении варианты состава каждой силовой цепочки; в) по согласованию с руководителем принимаются рабочие варианты цепочек для дальнейшей проработки; г) уточняются и дорабатываются в осевых и тонких линиях основные виды сборочного чертежа узла; д) определяются нагрузки на детали узла.

Варианты цепочек прорабатываются на миллиметровой бумаге и подшиваются в пояснительную записку.

* Под силовой цепочкой подразумевается участок конструкции от места приложения какой-либо внешней по отношению к узлу нагрузки до места ее уравнивания соответствующим приращением внутреннего (реактивного) усилия в одном из основных силовых элементов агрегата.

Ниже в качестве примера разбирается проработка путей передачи усилий для узла установки гидроусилителя на фюзеляже.

Один из возможных вариантов конструктивно-силовой схемы узла показан на рис. 11,а. Жесткое основание гидроусилителя 2 связано с парой усиленных стрингеров 3, которые при-

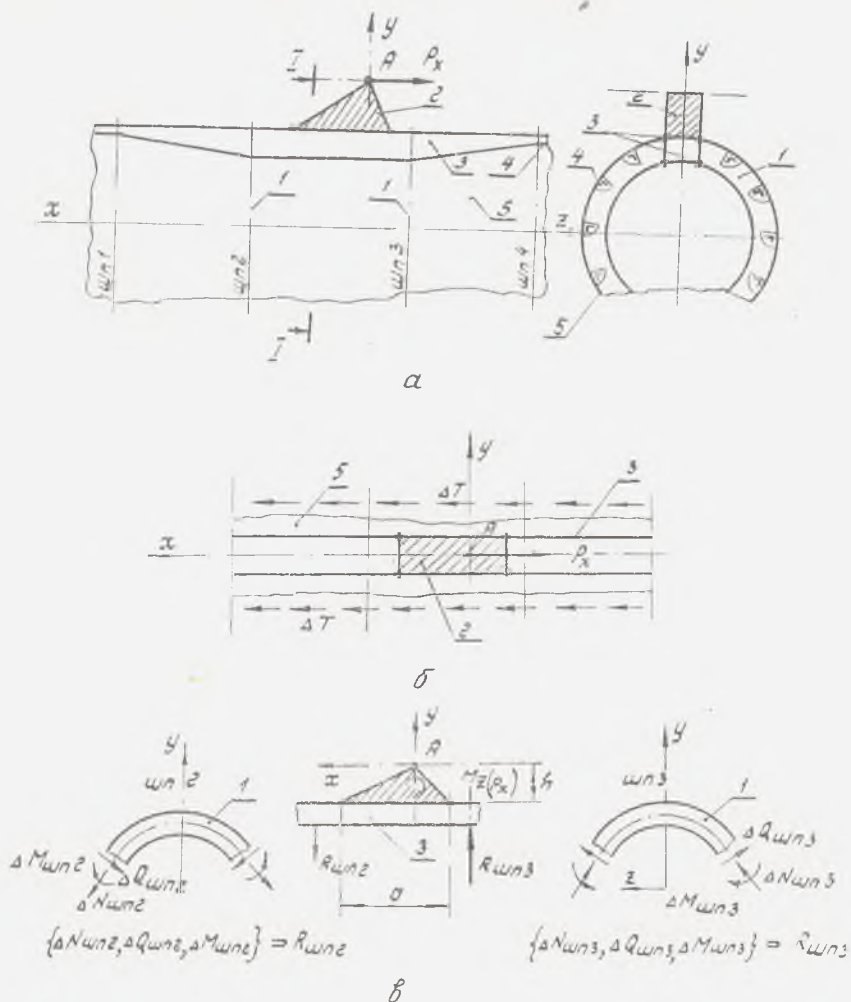


Рис. 11. Схема узла установки гидроусилителя на фюзеляже: а — конструктивно-силовая схема: 1 — шпангоуты, 2 — основание гидроусилителя, 3 — усиленные стрингеры, 4 — рядовые стрингеры, 5 — обшивка; б — схема уравнивания усилий P_x ; в — схема уравнивания момента $M_z(P_x)$.

званы распределять силу P_x , приложенную в точке А, на обшивку 5. Поскольку точки крепления основания к стрингерам не лежат в плоскостях шпангоутов 1, то стрингеры 3 должны обладать достаточной изгибной жесткостью в плоскости $хоу$, т. е. иметь балочное сечение. Участок передачи усилия на обшивку ограничен тремя шагами шпангоутов. За пределами этого участка усиленные стрингеры 3 переходят в рядовые стрингеры 4. Вариант схемы уравнивания узла показан на рис. 11,б, в не в аксонометрии, как это делалось ранее (рис. 6), а в проекциях. Здесь отдельно рассмотрено уравнивание силы P_x потоком касательных усилий в обшивке и уравнивание момента $M_z (P_x)$ реакциями шпангоутов $R_{шп 2}$ и $R_{шп 3}$. Эти реакции в данном случае являются обобщенными усилиями, включающими в себя $(\Delta N, \Delta Q, \Delta M)_{шп}$. Последние могут быть найдены из эюр для соответствующих шпангоутов

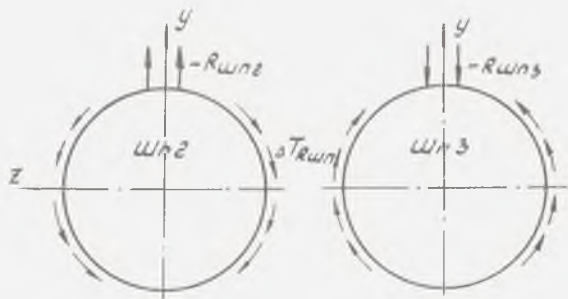


Рис. 12. Схемы нагружения шпангоутов 2 и 3

(рис. 12), методика построения которых рассматривалась в курсе «Прочность ЛА». В приведенной на рис. 11,в схеме уравнивания $M_z (P_x)$ для простоты предполагается, что рассматривается достаточно узкая полоска конструкции вдоль стрингеров 3 и поэтому касательными усилиями в обшивке $\Delta T (R_{шп 3})$ при уравнивании узла можно пренебречь.

Таким образом, в приведенной схеме уравнивания узла уже выделены, по сути, две силовые цепочки (рис. 13), подлежащие дальнейшей проработке: $P_x \rightarrow -\Delta T$ и $M_z (P_x) \rightarrow (\Delta N_{шп}, \Delta Q_{шп}, \Delta M_{шп})$.

Цепочка $P_x \rightarrow -\Delta T$.

Сила P_x может быть передана с основания 1 гидроусилителя на усиленные стрингеры 3 лишь через их стыковое соединение. Гидроусилитель вместе с основанием является покупным изделием и доработка его нежелательна (требования взаимозаменяемости и унификации). Установка основания должна быть

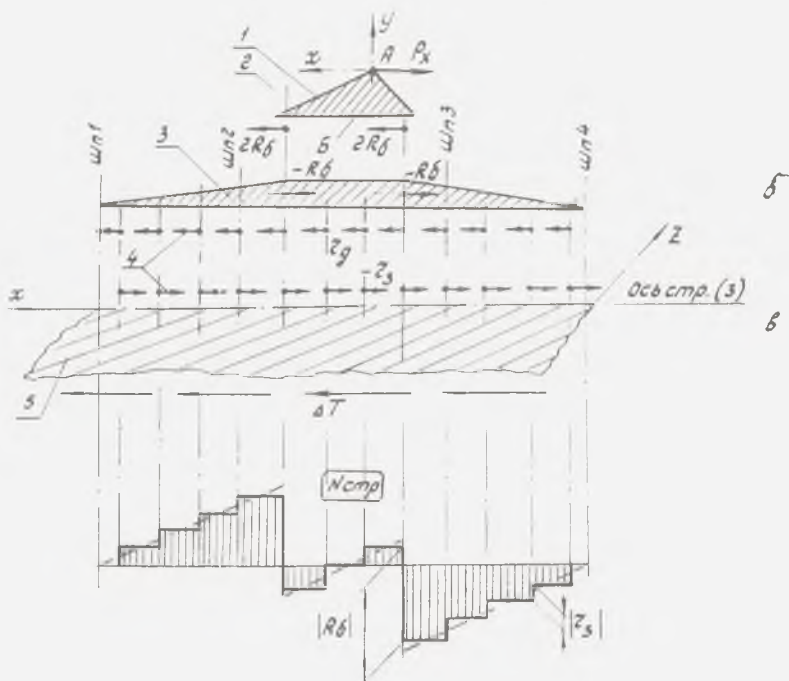


Рис. 13. Силовая цепочка $P_x \rightarrow \Delta T$: а — схема уравновешивания основания гидроусилителя; б — схема уравновешивания усиленного стрингера; в — схема уравновешивания обшивки; г — характер распределения нормального усилия в стрингере; 1 — основание гидроусилителя, 2 — стыковые болты, 3 — усиленный стрингер, 4 — заклепочный шов «стрингер-обшивка», 5 — обшивка.

выполнена на монтажных базах, предусмотренных в его конструкции: привалочной поверхности Б и четырех отверстиях под крепежные элементы большого диаметра. Конструкция должна обеспечивать демонтаж гидроусилителя (вместе с основанием) для ремонта и снятия характеристик (требования эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности). Таким образом, соединение должно быть разъемным. Используем болтовое соединение.

Теперь уравновешивание основания усилителя по P_x может обеспечиваться реакциями R_δ болтов, работающих на срез, и силой трения на привалочной поверхности Б, определяемой площадью контакта и усиления затяжки болтов. В случае, когда поверхность Б выполнена в виде приливов (бобышек) небольшой площади, целесообразно пренебречь (в запас) силами тре-

ния и считать, что P_x полностью уравновешивается реакциями болтов R_6 . Такой подход оправдан, тем более, что в результате ползучести материала болтов усилие затяжки в ходе эксплуатации падает.

Передача силы P_x срезными реакциями болтов требует постановки классных болтов по достаточно плотной посадке. А это, в свою очередь, требует тщательной разделки стыковочных отверстий либо в сборе, либо в разделочном стенде. В связи с этим возможны два варианта конструкции и работы стыка.

1. Передача P_x осуществляется только через одну пару классных болтов. Два других болта не работают на срез (используются лишь в цепочке $M_z (P_x)$) и могут стоять с зазором. Отверстия под них не требуют тщательной разделки.

2. Передача P_x осуществляется всеми четырьмя болтами, работающими на срез.

В первом варианте удешевляется изготовление стыковых отверстий, упрощается сборка и повышается степень взаимозаменяемости усилителя. В то же время увеличивается номенклатура крепежа и растет вес соединения. Во втором варианте стык усложняется технологически, но становится легче и выполняется одинаковым крепежом. Выбор варианта должен быть сделан на основе сравнения их экономических показателей. Далее рассматривается второй вариант.

Передача P_x болтами, работающими на срез, предполагает постановку классных болтов с короткой резьбовой частью, не заходящей внутрь стягиваемого пакета. В этих условиях для обеспечения затяжки соединения необходима постановка шайб со стороны гаек. Работа соединения в условиях действия вибрационных нагрузок, приходящихся на усилитель с руля, требует фиксации гаек против отвинчивания.

Требование обеспечения достаточно плотной посадки болтов при одновременной необходимости обеспечения сборки (разборки) соединения предполагает использование посадок типа $H7/P6$ или $H7/K6$. Таким образом, на данном этапе определены тип соединения (болтовое), его состав (болт, гайка, шайба), характер работы в данной цепочке (срез), нагрузка на болт (R_6), тип болта (классный, с укороченной резьбовой частью), тип посадки болта в отверстие ($H7/P6$ или $H7/K6$).

Дальнейшая передача усилия — $4R_6 = P_x$ с усиленного стрингера 3 на обшивку 5 наиболее просто (в случае клепаной конструкции фюзеляжа) может быть осуществлена заклепочным швом 4 (см. рис. 13). Усилие среза (реакция), приходящееся на одну заклепку, будет определяться только числом заклепок. С целью выравнивания усилий в заклепках (т. е. для обеспечения $r_z = \text{const}$) сечение усиленного стрингера 3 на участках

между стыковыми болтами и шпангоутами 1 и 4 должно меняться по линейному закону в соответствии с характером изменения нормального усилия $N_{стр}$ (см. рис. 13,г). Если рассматриваемая панель обшивки собирается с использованием групповой прессовой клепки по стрингерам, то следует отдать предпочтение Z-образной форме сечения усиленного стрингера 3 по сравнению с корытообразной или двутавром, которые требуют ручной клепки. При дальнейшей проработке заклепочного шва 4 необходимо рассмотреть возможность использования того же типа заклепок, который использован при сборке регулярной конструкции.

Таким образом, применительно к усиленному стрингеру 3, на данном этапе определены тип его соединений с обшивкой (заклепочный шов), предпочтительная форма сечения профиля Z-образная, нагрузка на стрингер — $2R_6$; определены также характер изменения нормального усилия в нем, характер работы (растяжение — сжатие), характер изменения площади сечения по длине (линейный).

$$\underline{\text{Цепочка } M_z(P_x) \rightarrow (\Delta N_{шп}, \Delta Q_{шп}, \Delta M_{шп})}$$

несколько сложнее по структуре, чем предыдущая. Однако методология ее проработки остается той же, что и в рассмотренном случае. Отметим только, что для передачи момента $M_z(P_x) = P_x h$ (см. рис. 11,в) на усиленные стрингеры 3 имеет смысл использовать те же стыковые болты, что и при передаче P_x . Реакции болтов в этом случае $R_{бу} = P_x h / 2a$ будут для стрингера 3, опертого на шпангоуты 2 и 3, поперечными нагрузками. Уравновешивание их осуществляется реакциями шпангоутов $0,5 R_{шп 2}$ и $0,5 R_{шп 3}$, а стрингер 3 работает на изгиб.

Таким образом, в данном случае налицо пересечение двух силовых цепочек (болты 2 и стрингеры 3 используются в каждой из них). Суммарный характер работы болтов 2 — растяжение со срезом, стрингера 3 — растяжение (сжатие) с изгибом.

Настоящий раздел вплотную подводит к конструктивной проработке узла — с одной стороны, и к его прочностной проработке — с другой. В то же время он дает информацию, которая либо должна быть учтена при последующей разработке сборочного чертежа, либо должна быть отражена в самом чертеже или в технических требованиях к нему. В рассмотренном примере это — состав соединений, необходимость контроля болтовых соединений, тип посадок болтов, необходимость совместной разделки отверстий в различных деталях и т. п.

В заключение раздела необходимо подчеркнуть, что качество проработки этапов 2.2—2.4 в значительной мере определяет весовое совершенство будущей конструкции узла.

2.5. ПЕРЕЧЕНЬ ВОЗМОЖНЫХ МЕСТ И ТИПОВ РАЗРУШЕНИЙ. ПЕРЕЧЕНЬ НЕОБХОДИМЫХ РАСЧЕТОВ

Перечень возможных мест и типов разрушений* разрабатывается по форме, приведенной в таблице и включает все детали узла (в том числе и основные силовые элементы агрегата) и их фрагменты. Разработка перечня основывается на анализе ранее принятых рабочих вариантов силовых цепочек. Данный перечень одновременно является и перечнем необходимых в дальнейшем прочностных расчетов.

Содержание и характер работы на данном этапе поясняются ниже на примере (см. рис. 11—13) узла установки гидроусилителя.

В зоне установки стыковых болтов 2 возможны (см. таблицу) следующие типичные разрушения деталей.

1. Разрушение болта под действием усилий растяжения (реакция болта от M_z (P_x) и усилие начальной затяжки) и среза (реакция болта от усилия P_x). При определенном материале болта конструктивным параметром, подлежащим выбору на основании расчета, является диаметр болта d_b . В случае, когда отверстия в основании усилителя не подлежат доработке, варьируемыми параметрами являются материал болта и его термообработка.

Используемая схема работы стыковых болтов 2 является упрощенной, так как из-за податливости соединяемых деталей и ослабления затяжки может иметь место изгиб болта.

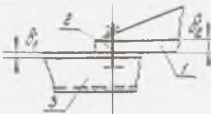
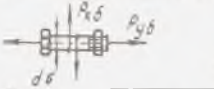
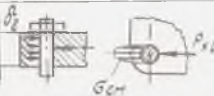
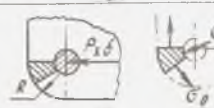
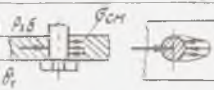
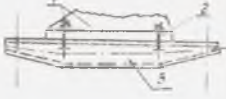

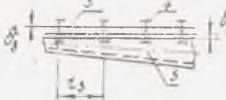

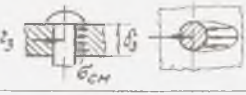
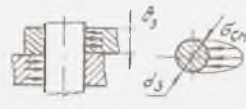
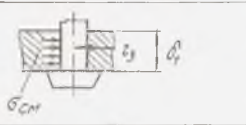

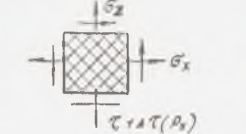
2. Смятие материала основания по поверхности контакта с болтом. При выбранном (или заданном) диаметре болта варьируемым конструктивным параметром является толщина δ_2 основания в зоне отверстия.

3. Разрыв проушины основания, работающей в двухосном поле окружных напряжений σ_θ и радиальных σ_r . Критерием разрушения в данном случае должно быть вычисляемое до соответствующей теории прочности эквивалентное напряжение $\sigma_3 = \sigma_3(\sigma_\theta, \sigma_r)$. Варьируемые конструктивные параметры δ_2 и R .

Следует заметить, что случаи 2 и 3 приведены здесь лишь в качестве примера. На покупном изделии, каким является гидроусилитель, конструктивное оформление монтажных баз (в том числе и размеры) уже рассчитано на допускаемые на-

* Применительно к планеру в целом выяснение мест и типов наиболее вероятностных разрушений является обязательным условием сертификации самолета на летную годность как по требованиям действующих НЛГС-2, так и по требованиям ИСАО.

Перечень возможных разрушений и необходимых расчетов

Зона	Характер возм. разрушения	Тип расчета	N
		Растяжение + срез по сечению болта	1
		Снятие по поверхности контакта	2
		Разрыв под действием эквивалентного напряжения $\sigma_3 = \sigma_3(\sigma_т, \sigma_з)$	3
		Снятие по поверхности контакта	4
		Разрушение сечением вследствие поперечного изгиба с растяжением/сжатием	5
		Срез по сечению заклепки	6
		Снятие по поверхности контакта	7
		Снятие по поверхности контакта	8
		Снятие по поверхности контакта	9
		Разрушение под действием $\sigma_3 = \sigma_3(\sigma_т, \sigma_з, \tau, \Delta T)$ или потеря устойчивости	10

грузки, т. е. параметры δ_2 и R при реальном проектировании выбору не подлежат, будучи заданными.

4. Смятие материала полки стрингера по поверхности ее контакта с болтом под действием усилия $P_{x6} = |R_6 (P_x)|$. Варьируемый параметр — толщина полки δ_1 .

5. Разрушение усиленного стрингера 3 на пролете между шпангоутами 2 и 3 в результате одновременного действия $(N, Q, M)_{стр}$. Подлежащие выбору конструктивные параметры — толщина полок и стенки $\delta_1, \delta_4, \delta_{ст}$; ширина полок a, b ; высота сечения $h_{стр}$.

6. Срез заклепок в шве обшивка-стрингер под действием усилия r_3 . Варьируемые конструктивные параметры — диаметр заклепки d_3 , число заклепок в шве n_3 (или шаг заклепок t_3) и материал заклепок.

7—9. Смятие по одной из поверхностей контакта в заклепочном шве. Выбираемые конструктивные параметры — толщина обшивки δ_3 , толщина полки δ_1 , диаметр заклепки d_3 и число заклепок n_3 .

10. Разрушение (или местная потеря устойчивости) обшивки 5 в зоне стрингеров 3 в результате появления приращения касательных напряжений $\Delta \tau (\Delta T)$. Задача расчета здесь будет состоять в назначении усиления обшивки $\Delta \delta_3$ по сравнению с толщиной обшивки δ_3 в регулярной конструкции, подобранной по $\sigma_3 = \sigma_x, \sigma_z, \tau_{xz}$.

Приведенный перечень возможных разрушений и необходимых расчетов является неполным для рассматриваемого примера. В частности, остались нерассмотренными вероятные разрушения в части второй силовой цепочки $M_z (P_x) \rightarrow (N, Q, M)_{шп}$. Основными результатами раздела, таким образом, являются выяснение структуры и характера необходимых в дальнейшем прочностных расчетов, а также предварительное определение круга проектных параметров, подлежащих выбору или обоснованию (с прочностной точки зрения) при дальнейшей проработке конструкции.

Разработанный на этом этапе перечень не может быть исчерпывающим. Он подлежит уточнению и дополнению на следующем этапе — при эскизной проработке фрагментов конструкции узла, т. е. при ее дальнейшей детализации.

2.6. ПРОРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ УЗЛА

Суть этапа — конструктивное оформление ранее сформулированных цепочек передачи сил на уравнивание. Здесь на основе принятых схемы и состава узла прорисовываются варианты конструктивного исполнения его фрагментов,

т. е. производится дальнейшая детализация уже заложенной основы сборочного чертежа. Одновременно производится выбор материалов деталей, уровней расчетных допускаемых напряжений для них, подбор нормализованных (стандартных) деталей, площадей и типов сечений элементов прочих деталей. Выбор последних обосновывается либо ссылками на нормативные материалы, либо необходимыми прочностными расчетами. Расчеты выполняются в соответствии с разработанным перечнем, который, в свою очередь, уточняется и дополняется в ходе прорисовки конструкции.

Этап является, таким образом, комплексным и кульминационным: именно здесь окончательно оформляется конструкция и, в значительной мере, закладываются характеристики ее надежности, долговечности, производственной и эксплуатационной технологичности, ремонтпригодности и, в какой-то степени, весового совершенства. Итогом этапа является вся основная конструкторская документация на узел.

Последовательность выполнения работ на этом ответственном и сложном этапе можно наметить лишь укрупненно: работа здесь ведется параллельно во многих аспектах. Ниже кратко рассматриваются наиболее общие вопросы, присущие проработке конструкции любого узла и любого его фрагмента.

2.6.1. Проработка и конструктивное оформление стыков деталей

Это вопрос, которому на начальной стадии проработки конструкции узла уделяется основное внимание. Оформление стыков ведется с учетом общих требований к конструкции, сформулированных ранее (см. разд. 1.2). Здесь попадают в поле зрения конструктора и решаются такие вопросы, как: выбор расположения и формы опорных и привалочных поверхностей с учетом нежелательности стыковки одновременно по нескольким пересекающимся или криволинейным поверхностям; выбор типов посадок в стыках и их классов точности; выбор типоразмеров крепежных и других нормализованных или стандартных деталей; организация усилений основных деталей по болтовым и заклепочным швам; увязка конструкции узла со схемой сборки агрегата; организация шарнирных соединений, включая проработку вопросов обеспечения смазки и минимального износа или легкой замены изнашиваемых деталей; выбор схем фиксации деталей (например, резьбовых элементов против отворачивания и т. п.); выбор способов обеспечения точности сборочных размеров узла и взаимозаменяемости деталей, включая выбор сборочных баз и компенсацию погрешностей размеров деталей при сборке.

Параллельно решаются вопросы обеспечения в необходимых случаях герметичности стыков; защиты элементов стыков от износа, разбивания и коррозии; обеспечения требуемой долговечности стыков. Одновременно продумываются подходы для инструмента при сборке и монтаже с учетом предпочтительности использования механизированного инструмента; подходы при осмотрах и обслуживании с учетом характера и периодичности работ.

Таким образом, на этом этапе ведутся постепенная увязка и уточнение элементов и размеров, по которым стыкуются детали, и дальнейшая проработка сборочного чертежа. Выбор и обоснование конфигурации и размеров стыковочных элементов вновь разрабатываемых (или выбираемых) деталей узла, естественно, требуют параллельного принятия решений по конструкционным материалам и их характеристикам, т. е. их выбора (см. разд. 2.6.2); выполнения проектировочных или поверочных расчетов на прочность (см. разд. 2.6.2) для стыковочных элементов в соответствии с ранее разработанным перечнем, а также уточнения перечня необходимых расчетов в ходе дальнейшей детализации конструкции.

Уточнение конфигурации и размеров деталей основной конструкции, параметры сечений которых предварительно заданы по результатам общего проектировочного расчета агрегата, идет в направлении усиления этих деталей в зонах их стыков как друг с другом, так и с вновь появляющимися деталями узла. Необходимость такого усиления может диктоваться рядом причин.

В общем проектировочном расчете агрегата и при предварительном назначении размеров и конфигурации регулярных сечений основных силовых элементов весьма приближенно учитывается наличие в их стыках болтовых и заклепочных швов (и, как следствие, ослабление сечений крепежом и концентрация напряжений у отверстий под крепеж). Это обстоятельство требует последующего уточнения регулярных сечений элементов основной конструкции (толщин обшивок и стенок, площадей и конфигурации сечений стрингеров и поясов) в зонах стыков в ходе проработки последних. При реальном проектировании к моменту проработки конструкции узлов эта работа уже выполнена.

В условиях учебной работы, когда на предыдущих этапах проектирования агрегата стыки деталей основной конструкции не прорабатывались, эта работа должна быть выполнена на данном этапе. Нагрузки на болтовые и заклепочные соединения элементов основной конструкции определяются на основе схемы уравнивания узла (разд. 2.3) и известных представлений о путях и последовательности передачи сил в конструкции.

В ходе проработки конструкции узла могут быть выявлены дополнительные (неучтенные в общем расчете) местные нагрузки, а также необходимость выполнения в деталях основной конструкции дополнительных отверстий под крепеж для стыковки деталей узла. Это, в свою очередь, требует уточнения (или пересмотра) размеров и конфигурации деталей основной конструкции. Усиление деталей основной конструкции должно выполняться, по возможности, в пределах размеров исходных полуфабрикатов. И лишь при невозможности такого выполнения усиления — путем постановки дополнительных усиливающих элементов (накладок и т. п.).

Кроме уже отмеченных моментов на этом этапе проработки конструкции узла реализуются в чертеже и его технических требованиях ранее принятые (см., например, разд. 2.4) решения по посадкам крепежных элементов, их контровке и предварительным затяжкам; по схемам заделки и фиксации подшипников и т. п. Здесь же в необходимых случаях подлежат выбору клеи и герметики [14], а также необходимые смазки [24]. Выбор их осуществляется с учетом требований к конструкции узла и проявляющихся в ходе прорисовки особенностей его устройства. Принятые решения отражаются в технических требованиях сборочного чертежа.

В ряде случаев на этом этапе должны быть сформулированы также требования к твердости рабочих поверхностей деталей. К примеру, это должно быть сделано для контактирующих поверхностей, износ которых оказывает на работоспособность конструкции определяющее влияние. Эти требования впоследствии отражаются в технических требованиях сборочного чертежа и рабочих чертежей соответствующих деталей. Совершенно ясно, что приведенный перечень вопросов, решаемых на данном этапе проработки конструкции узла, не может быть исчерпывающим. Он лишь дает общее представление о характере и содержании работ. Дальнейшая его детализация делается при выполнении задания с учетом специфики проектируемого узла.

После решения указанных вопросов проработка конструкции вступает в новую фазу, когда от уточнения конструктивных элементов стыков деталей переходят к уточнению формы и размеров отдельных деталей.

2.6.2. Проработка формы и размеров деталей

Ведется на основе выполняемых параллельно прочностных расчетов, требований к жесткости детали и учета свойств выбранного материала и связей между рациональными формами детали и технологией ее изготовления. Необходимо

подчеркнуть еще раз, что основные технологические решения принимаются на этом этапе одновременно с конструктивными.

В рамках работы по проектированию узла деталь, в свою очередь, является самостоятельным объектом разработки, а ее проектирование имеет свою специфику и особенности. Общая методология проектирования (т. е. структура, последовательность этапов и связи между ними) остается для деталей той же, в целом, что и при разработке конструкции узла. Разница состоит лишь в том, что для детали, которая является более простым объектом, чем узел, содержание основных этапов упрощается. Исходные данные и расчетные условия на проектирование детали берутся из задания (системы исходных данных) на проектирование узла в целом.

В реальном проектировании нередко возникает необходимость рассмотреть и сравнить различные технологические варианты деталей с целью выбора рационального сочетания их конфигурации и способа изготовления, который может вносить в проектирование целый ряд особенностей и накладывать свой отпечаток на конструктивное оформление детали. С учетом этого в учебной работе по проектированию узла студентам нередко предлагается выполнить подробную разработку конструкции одной из деталей узла в трех технологических вариантах: штампованном, литом и сварном. Цель этой части работы — проследить связи между технологическими особенностями детали — с одной стороны, и особенностями ее конструкции и весом — с другой.

Ниже обсуждается последовательность, содержание и особенности этапов проработки конструкции детали.

Выбор рациональной силовой схемы детали может быть произведен на основе сравнения вариантов по критерию «минимум силового веса». Справочные данные по расчету последнего для различных случаев даны в прил. 2. При проработке дополнительных технологических вариантов детали может возникнуть вопрос лишь об уточнении геометрических параметров схемы. Например, для ферменного кронштейна (рис. 14), в принципе, может обсуждаться вопрос о рациональной величине угла α при вершине фермы. Угол этот влияет как на длину стержней, так и на величину усилий в них.

Расчетные нагрузки на деталь выбираются из раздела 2.4, где они получены при анализе силовых цепочек. Так как система нагрузок, действующих на деталь — самоуравновешенная, то выбор нагрузок равносильен разработке схемы уравновешивания детали.

Расчетная схема детали выбирается таким образом, чтобы максимально упростить прочностные расчеты при сохранении приемлемой их точности. Для этого конструкция реальной де-

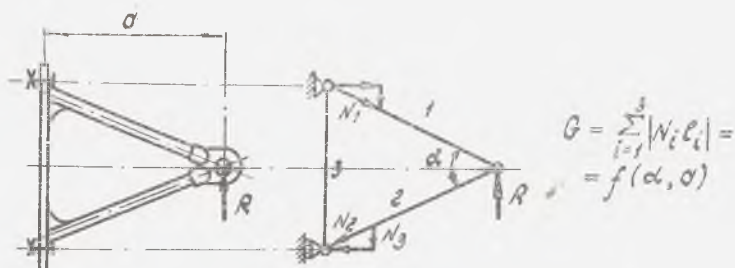


Рис. 14. Словая схема и силовой вес кронштейна: 1, 2, 3 — номера стержней фермы

тали представляется в виде совокупности типовых элементарных конструкций (стержней, брусьев, балок, пластин и т. п.), методы расчета которых общезвестны. В качестве примера на рис. 15 показан один из возможных вариантов расчетной схемы кронштейна.

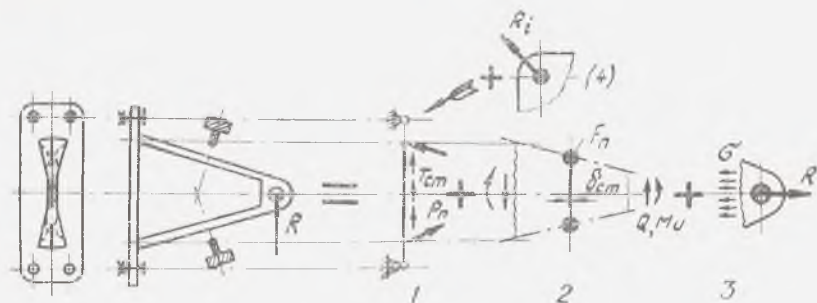


Рис. 15. Словая и расчетная схемы кронштейна: 1 — балка; 2 — идеальный двутавр с переменным по длине Q , M_n , h , $\delta_{ст}$, F_n ; 3, 4 — плоская проушина, нагруженная через жесткую вставку

Вводимые при этом допущения и упрощения и характер их влияния на прочность детали должны быть оговорены в пояснительной записке. Если нет достаточной ясности относительно влияния введенных допущений на прочность, то следует оговорить необходимость и характер испытаний.

Выбор конструкционного материала и его характеристик производится для всех вновь разрабатываемых (или выбираемых по нормальям и стандартам) деталей узла. Делается он таким образом, чтобы при заданных расчетных условиях (R_n , $t^{\circ}_{экспл}$, расчетные нагрузки на деталь, материалы и $[\sigma]_p$ элементов основной конструкции) и предполагаемой технологии изготовления обеспечивался минимум веса каждой детали. Кри-

терием для такого выбора в первом приближении могут быть характеристики удельной прочности [9 (с. 197—214), 2, 19, 31] типа

$$\frac{[\sigma]_p}{\gamma} = \frac{\sigma_b}{\gamma} \cdot \prod_{i=1}^{i=n} k_i,$$

где γ — удельный вес материала;

σ_b — его предел прочности;

k_i — поправочные коэффициенты, учитывающие влияние на работоспособность материала длительности эксплуатации, интенсивности и характера нагрузок, рабочих температур, технологических процессов, воздействия внешней среды, чувствительность материала к концентрации напряжений и т. п.;

$[\sigma]_p$ — расчетное допускаемое напряжение для материала для конкретных расчетных условий.

Достаточно систематизированных данных по величинам k_i на сегодня нет и на практике они определяются (или проверяются) экспериментально. При выполнении учебного задания величины k_i принимаются приближенно по материалам учебной или периодической литературы [20] и обязательно согласовываются с консультантом. Для вновь разрабатываемых деталей задача выбора материала существенно упрощается тем, что выбор варианта технологии изготовления детали автоматически ограничивает круг приемлемых материалов. Соответственно, выбор варианта технологии должен быть сделан конструктором в процессе разработки детали.

Рекомендации по предпочтительным для того или иного варианта технологии маркам материалов приведены в [11]. Достаточно полная информация о прочностных и технологических свойствах материалов содержится в справочнике [14]. Для материалов, механические характеристики которых определяются режимом термообработки, требования к последней должны быть сформулированы одновременно с выбором материала и обоснованием расчетных допускаемых напряжений. Впоследствии эта информация отражается в технических требованиях рабочих чертежей деталей. В основных надписях этих чертежей материалы указываются в состоянии поставки [14, 10]. Материалы стандартных и нормализованных деталей могут быть указаны непосредственно в нормали или стандарте. В этом случае выбор материала выполняется одновременно с выбором типоразмеров детали.

При необходимости совместной (параллельной) работы деталей из разнородных материалов их расчетные допускаемые напряжения должны быть согласованы по величине предельной

для основного материала деформации с учетом характера нагружения и диаграмм $\sigma - \epsilon$ [15]. При подборе совместно работающих материалов необходимо также учитывать разницу в их коэффициентах линейного расширения и возможность возникновения температурных напряжений.

Определение прочных размеров детали выполняется на основе расчетов параллельно с дальнейшей проработкой сборочного чертежа. Расчеты на прочность делаются с целью проверки, обоснования или определения размеров сечений деталей, для всех отдельных элементарных конструкций расчетной схемы по каждому опасному сечению; для промежуточных сечений, когда требуется уточнить закон изменения сечения по длине детали; для всех мест и форм возможных разрушений, вошедших в перечень (см. разд. 2.5) и относящихся к данной детали.

Перечень необходимых расчетов, таким образом, уточняется и дополняется в ходе дальнейшей проработки как узла в целом, так и каждой его детали. Детальные расчеты ведутся по принятым выше расчетным допускаемым напряжениям на статические нагрузки, которые для основных силовых элементов определены на этапе проработки схемы уравнивания узла (разд. 2.3), а для остальных деталей — на этапе проработки силовых цепочек (разд. 2.4).

Методики выполнения таких расчетов и используемые в них подходы известны из предшествующих дисциплин и курсов и приведены в учебниках и учебных пособиях [2, 5, 15, 17, 31] и др., а также в справочниках по расчету на прочность деталей машин типа [25]. Некоторые подходы к подбору сечений деталей с позиций весовой оптимизации отдельных типов узлов рассмотрены в учебном пособии [2].

При определении прочных размеров деталей в обязательном порядке должны учитываться требования раздела 4.3 (особые случаи нагружения самолета) НЛГС [7] или соответствующих разделов норм прочности [8]. В случае расчета деталей, принадлежащих ответственному стыковому узлу, должен быть введен дополнительный коэффициент безопасности $f = 1,25$ [7, разд. 4.3]. При выполнении расчетов для литого варианта детали следует ввести дополнительный коэффициент безопасности $f = 1,5 \div 2,0$ [7, разд. 4.3]. Расчетные нагрузки для сварных швов в зависимости от типа сварки, марки материала и типа шва приведены в [11, часть III].

Для нормализованных и стандартных деталей и изделий расчет на прочность не производится, а сами изделия (например, заклепки, винты, болты, подшипники, тяги управления и т. п.) подбираются по расчетным разрушающим нагрузкам по соответствующим расчетным нормам типа AP [4, 6, 12].

Поверочный расчет этих изделий производится в отдельных нестандартных (не предусмотренных нормами) случаях нагружения, например, при одновременном нагружении болта растягивающими и срезающими усилиями. При подборе или поверочном расчете таких изделий необходимо учитывать (там, где они есть) усилия предварительной затяжки и напряжения от диаметральных натягов при плотных посадках [19 (ч. III), 30].

Рассматриваемые расчеты по сути своей всегда являются приближенными как в силу допущений, вводимых при выборе расчетной схемы детали, так и в силу суммирования допущений и погрешностей, введенных на предыдущих этапах. Характер влияния этих допущений на прочность детали должен быть оговорен в заключении по расчету. Величины расчетных нагрузок для деталей носят вероятностный характер, так как в основе их определения на этапе 2.4 лежало приближенное раскрытие статической неопределимости узла. Для особо ответственных элементов целесообразно, пользуясь методом крайних оценок, установить вероятный диапазон нагрузок и выполнить подбор сечений по средним, а иногда — и по максимально возможным усилиям.

При выполнении учебной работы (в отличие от требований ЕСКД) не требуется оформлять расчеты отдельным документом: они объединяются с пояснительной запиской. В то же время описание каждого конкретного расчета должно выполняться в соответствии с требованиями ГОСТ 2.106-68 (разд. 7) и в обязательном порядке содержать: эскиз и (или) расчетную схему рассчитываемой детали и сечения; формулировку задачи расчета; исходные данные для расчета; расчетные условия; собственно расчет; заключение по расчету.

Общим итогом расчетов должна явиться сводная таблица коэффициентов избытков прочности по всем расчетным сечениям. Отдельные размеры детали могут определяться не прочностными, а иными конструктивными соображениями (например, условиями размещения крепежа и обеспечения подходов для инструментов). Коэффициенты избытка прочности по этим размерам могут быть значительными.

Выбор технологических форм и размеров детали производится в соответствии с требованиями и рекомендациями по технологичности [11] для каждого из прорабатываемых вариантов детали. Выполнение этих требований призвано обеспечить приемлемые качество изделия, производительность и износ технологического оборудования.

При сохранении расчетных площадей сечений выбору подлежат:

горячештампованная деталь [11, часть VI]: рациональная форма детали и ее конструктивных элементов; ори-

ентация плоскости разъема штампа; толщина и угол наклона; полотно; площади отверстий облегчения, пробиваемых при штамповке; толщина и высота ребер, расстояние между ребрами; радиусы сопряжений, закруглений и переходов; штамповочные уклоны; предельные отклонения (допуски) на необрабатываемые размеры.

Литая деталь [11, часть V]: способ литья; рациональная форма детали и ее элементов, обеспечивающая равномерность остывания отливки; поверхность разъема формы; литейные уклоны; минимальные толщины стенок; толщины ребер и расстояние между ними; радиусы сопряжений и закруглений; предельные отклонения размеров.

Сварной узел [11, часть III]: тип сварки; форма и конфигурация детали, соответствующая типу сварки; конструктивные параметры сварных швов.

Общие рекомендации по выбору вида сварки и конструктивной формы сварных соединений с учетом возможностей сварочного оборудования изложены в [11, часть III, разд. V]. Необходимо учитывать, что если упрощение и улучшение сварного соединения достигается за счет усложнения других технологических процессов (штамповки, механической обработки и т. п.), то конструктивное решение должно приниматься с учетом всех реальных условий.

В заключение следует заметить, что во всех случаях выбор размеров элементов деталей должен производиться с учетом необходимости последующей механической обработки по стыкам или кругом с целью облегчения или пригонки по весу.

2.6.3. Использование отраслевых нормалей и ГОСТов

При проработке конструкции решение целого ряда вопросов регламентируется действующими нормальми и ГОСТами.

В ходе прорисовки конструкции и уточнения размеров деталей выбору по нормальям подлежат: крепежные элементы (геометрические размеры, материал, покрытие и термообработка, класс точности, поле допусков на основной посадочный размер и вес) [6]; подшипники качения [32] и шарнирные подшипники скольжения [32] вместе с их разрушающими радиальными нагрузками [4, 26]; типовые элементы механической проводки управления (тяги, хвостовики, тросы, ролики и т. п.) [12, 13, 16] вместе с разрушающими нагрузками; схемы и способы заделки подшипников [12]; разрушающие нагрузки для нормальных крепежных элементов [6, 12]; стандартные размеры листов, профилей, труб и прочих полуфабрикатов и прочностные характерис-

тики их материалов в состоянии поставки (см. напр. [10]); конструктивные элементы бесчертежных деталей, изготавливаемых из листа холодной штамповкой [13].

Совершенно очевидно, что на данном этапе проработки конструкции должен быть рассмотрен и решен, помимо перечисленных, широкий круг технических вопросов. Большинство их носит частный характер и связано со спецификой назначения, устройства и технологии как узла в целом, так и отдельных его фрагментов. При решении таких вопросов следует обращаться к специальной литературе. Следует так же напомнить, что оригинальность конструкции не должна являться для конструктора самоцелью. С полезными примерами конструкций тех или иных узлов можно познакомиться в учебниках и учебных пособиях [2, 17, 21, 23, 31], а также по техническим описаниям самолетов того же типа, что и проектируемый.

3. ОФОРМЛЕНИЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

3.1. ОФОРМЛЕНИЕ СБОРОЧНОГО ЧЕРТЕЖА

Проектируемый узел, как правило, не является отдельной подсборкой. Поэтому согласно требованиям ЕСКД при реальном проектировании на него не должен выпускаться самостоятельный сборочный чертеж. При выполнении учебной работы сборочный чертеж узла разрабатывается как фрагмент (по определению ГОСТ 2.305-68, разд. 6 — как выносной элемент) общего сборочного чертежа агрегата со всеми вытекающими отсюда требованиями, но может оформляться как самостоятельный чертеж.

Чертеж и его технические требования должны содержать всю информацию (состав узла; форма, размеры входящих деталей и способы их соединения; монтажные и присоединительные размеры и т. п.), которая необходима для правильной сборки, контроля и испытаний узла, для его размерной увязки с ответными узлами, а также для разработки детальных рабочих чертежей и разбивки плазов. При разработке чертежа одновременно анализируются и решаются вопросы унификации деталей и их типоразмеров. Принятые решения отражаются в пояснительной записке.

3.2. ОФОРМЛЕНИЕ ДИРЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Здесь сводятся воедино технологические решения, принятые на различных стадиях проработки конструкции и обязанные обеспечить наиболее рациональное ее изготовление и эксплуатацию. В директивной технологии должны быть отражены: используемые конструкционные и прочие материалы; виды заготовок и полуфабрикатов; технологические процессы, обеспечивающие необходимые характеристики материалов; способы обеспечения взаимозаменяемости деталей, точности сборочных размеров и компенсации их погрешностей; схема и последовательность сборки узла, вписанная в схему общей сборки агрегата; типы сборочного инструмента и подходы для него.

Директивная технология узла приводится в пояснительной записке и является фрагментом директивной технологии агрегата.

3.3. ОФОРМЛЕНИЕ СПЕЦИФИКАЦИИ

Спецификация, выпускаемая на каждый сборочный чертеж, отражает состав конструкции — с одной стороны, и комплектацию ее сборки — с другой. Таким образом, структура спецификации полностью определяется чертежом и директивной технологией сборки, а разработка ее носит, по существу, формальный характер.

Для узлов каркасных групп спецификация оформляется по форме 2 [3] ГОСТ 2.108-68, принятой для плазово-шаблонного метода производства. Для узлов опор шасси и систем управления принята форма спецификации 1 [3] ГОСТ 2.108-68.

3.4. ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Разработка пояснительной записки ведется на всем протяжении работы. В пояснительной записке отражаются все, без исключения, моменты проектирования. Язык записки должен быть четким и лаконичным.

Оформляется пояснительная записка в соответствии с требованиями к оформлению текстовых конструкторских документов [3], ГОСТ 2.105-106-68 и в обязательном порядке должна содержать оглавление, перечень чертежей, сводную таблицу избытков прочности, список литературы. В тексте пояснительной записки во всех необходимых случаях должны быть ссылки на литературные источники, использованные при работе и имеющиеся в списке.

3.5. ОФОРМЛЕНИЕ РАБОЧИХ ЧЕРТЕЖЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Разработка рабочих чертежей деталей не входит, вообще говоря, в объем работ по проектированию узла. Вопрос обсуждается здесь постольку, поскольку учебное задание на разработку конструкции узла включает, как правило, выполнение детализовок хотя бы на примере одной детали. Рабочий чертеж детали оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.107-68, 2.109-68 [3]. Рабочий чертеж выпускается на каждый технологический вариант детали и должен содержать всю информацию, необходимую для изготовления и контроля детали, а также для разработки чертежей технологической оснастки (штампов, литейных форм, сварочных кондукторов и т. п.).

На рабочем чертеже все размеры и их предельные отклонения должны быть проставлены полностью. Ссылки на плаз, шаблоны и нормали применительно к непроставленным размерам или предельным отклонениям допускаются только в слу-

чаях, предусмотренных отраслевыми стандартами, указанными в прил. 3. Размеры, получаемые на сборке, заключаются в квадратные скобки и сопровождаются соответствующим пояснением в технических требованиях чертежа. Указание размеров следует производить от баз, принятых для механической обработки, которые, как правило, являются конструкторскими базами.

В местах, подлежащих механической обработке, должна быть указана требуемая шероховатость поверхности. Чистота обработки и ее точность должны быть увязаны как между собой, так и с посадками, проставленными на сборочном чертеже. Справочные данные для такой увязки приведены, например, в [9 кн. 1, гл. 9]. В технических требованиях чертежа должны быть указаны термообработка, система покрытий, требования к контролю, способ прогонки по весу, способ маркировки [1].

Подводя итог рассмотрению структуры и содержания работы конструктора при проектировании узла, а также с целью формирования целостного представления об общей архитектуре этой работы, о ее общем алгоритме, видимо, полезно еще раз представить эту структуру в целом. Итак, работа ведется конструктором в следующей последовательности.

Подготовительный этап — уяснение требований к конструкции узла; выбор системы исходных данных на проектирование.

Схемный уровень проработки конструкции — предварительная провязка геометрической информации по узлу, выбор конструктивно-силовой схемы узла, анализ и сравнение вариантов; выбор (разработка) самоуравновешенной системы нагрузок на узел; проработка путей передачи усилий на уравновешивание; формирование состава и структуры конструкции, определение нагрузок на детали, разработка перечня необходимых прочностных расчетов на основе анализа возможных мест и форм разрушения деталей.

Конструктивная проработка узла — эскизная проработка фрагментов конструкции: оформление элементов стыков, предварительная проработка конфигурации деталей; проработка конструкции и технологических вариантов деталей: выбор рациональных силовых схем, расчетных условий и нагрузок, расчетных схем, материалов, расчетных допускаемых напряжений, определение прочных размеров; выбор технологических форм и размеров элементов; оценка масс; доработка и оформление сборочного чертежа и спецификации (фрагментов); оформление фрагмента директивной технологии или сводки технологических данных для ее оформления; окончательное оформление пояснительной записки и расчетов по узлу; выпуск рабочих чертежей на детали.

В пособии рассмотрены лишь самые общие, типичные этапы и моменты работы конструктора, в том или ином виде и объеме присутствующие в разработке любого узла силовой конструкции ЛА.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. *Ванякин С. И.* Рекомендации по составлению технических требований на чертежах. — Куйбышев, КуАИ, 1977.
2. *Гиммельфарб А. Л.* Основы конструирования в самолетостроении. — М.: Машиностроение, 1980.
3. Единая система конструкторской документации (сборники ГОСТов ЕСКД) — М.: Издание комитета стандартов, мер и измерительных приборов при СМ СССР.
4. *Зайцев А. М., Коросташевский Р. В.* Авиационные подшипники качения. — М.: Оборонгиз, 1963.
5. *Кан С. Н., Свердлов Н. А.* Расчет самолета на прочность. — М.: Машиностроение, 1966.
6. Крепежные нормы (Сокращенный сборник нормалей) — М., 1970.
7. Нормы летной годности гражданских самолетов СССР. Изд. 2-е, М., 1974.
8. Нормы прочности сухопутных самолетов. — ЦАГИ, 1974.
9. *Орлов П. И.* Основы конструирования. Кн. I, II, III. — М.: Машиностроение, 1977.
10. Прессованные профили (каталог) — М.: Оборонгиз, 1957.
11. Рекомендации по технологичности самолетных конструкций (НИАТ). — М.: Оборонгиз, 1963.
12. Сборник нормалей для проектирования узлов. — Куйбышев, КуАИ.
13. Сборник нормалей (Папка № 57). — Куйбышев, КуАИ.
14. Справочник по авиационным материалам (ВИАМ) — М.: Машиностроение, 1964.
15. *Астахов М. Ф., Караванов А. В., Макаров С. А.* и др. Справочная книга по расчету самолета на прочность — М.: Оборонгиз, 1954.
16. Тяги управления (Нормалей МЛП) — НИАТ, 1954.
17. *Шудльженко М. Н.* Конструкция самолетов. — М.: Машиностроение, 1975.

Дополнительная

18. *Беляков И. Т., Борисов Ю. Д.* Технологические проблемы проектирования летательных аппаратов. — М.: Машиностроение, 1978.
19. *Вигдорчик С. А.* Технологические основы проектирования и конструирования самолетов. (Конспект лекции) — М.: изд-во МАИ, ч. I, 1974.
20. Вопросы выбора конструкционных материалов и обоснования расчетных допускаемых напряжений при проектировании. Библиографический указатель. — Куйбышев, КуАИ, 1979.
21. *Глаголев А. Н., Гольдинов М. Я., Григоренко С. М.* Конструкция самолетов. — М.: Машиностроение, 1975.
22. *Горбунов М. И.* Основы технологии производства самолетов. — М.: Машиностроение, 1976.
23. Конструкция летательных аппаратов. / Под редакцией *К. Д. Туркина.* — Изд-во ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1972.

24. Нефтепродукты: масла, смазки, присадки (Сборник ГОСТов) — М.: Изд.-во Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при СМ СССР, 1970.
25. Прочность. Устойчивость. Колебания (Справочник), т. 1, 2, 3 / Под общей ред. И. А. Биргера и Я. Г. Пановко. — М.: Машиностроение, 1968.
26. Бейзельман Р. Д., Ципкин Б. В., Перель Л. Я. Расчет и выбор подшипников качения. Справочник. — М.: Машиностроение, 1975.
27. Голего Н. П., Запорожец В. В., Кордонский Х. Б. и др. Ремонт летательных аппаратов. / Под ред. Н. П. Голего. — М.: Транспорт, 1977.
28. Смирнов Н. Н. Эксплуатационная технологичность самолетных конструкций. — М.: Оборонгиз, 1963.
29. Смирнов Н. Н., Мулкиджанов И. К. Эксплуатационная технологичность транспортных самолетов. — М.: Транспорт, 1972.
30. Сухарев И. П. Прочность шарнирных узлов машин. — М.: Машиностроение, 1977.
31. Хертель Г. Тонкостенные конструкции (пер. с нем.) — М.: Машиностроение, 1965.
32. Шариковые и роликовые подшипники. — М.: Изд-во Госстандарта СССР, 1958.

Приложение I

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ УЗЛОВ
КОНСТРУКЦИИ КРЫЛА

Исходные данные на проектирование узлов представлены в виде результатов эскизной проработки агрегата в целом и включают:

1. Информацию по агрегату, общую для всех входящих в него узлов.
2. Дополнительную информацию по каждому из рассматриваемых узлов.

Общая информация включает эскизную схему крыла, его краткое техническое описание, предварительные данные по технологическому процессу изготовления агрегата и его частей, обобщенное распределение нагрузок и расчетные условия для агрегата в целом. Дополнительная информация содержит частные требования к конструкции конкретного узла, его более детальную компоновочную схему, местные расчетные нагрузки и жесткостные параметры (сечения основных силовых элементов) регулярной конструкции.

I. Общая информация

Техническое описание агрегата

Крыло (рис. III, вкладка) состоит из двух съемных консолей и двух несъемных передних бортовых наплывов, конструктивно принадлежащих фюзеляжу. Отъемная консоль представляет собой стреловидное крыло с удлинением $\lambda = 3,0$, сужением $\eta = 2,4$, стреловидностью по передней кромке $\chi^\circ = 40^\circ$ и углом поперечного $\psi = -3^\circ$. Угол заклинения крыла $\alpha_k = +2$. Профили крыла симметричные с относительной толщиной около 6%. Наплыв на передней кромке в концевой части крыла образован путем удлинения носовой части (до 1-го лонжерона) исходного профиля. Геометрической кривки крыло не имеет. В зоне до бортового наплыва поверхность хорд крыла представляет собой плоскость. В зоне бортового наплыва она представляет цилиндрическую поверхность.

Консоль снабжена элероном и поворотным шелевым закрылком. Относительная площадь элерона 3,5%, осевая компенсация 18%, углы отклонения (+17°, -17°). Углы отклонения закрылка: на взлете -40°, на посадке -47°. Относительная площадь закрылка 11,5%.

Конструктивно-силовая схема консоли (см. рис. III, вкладка) комбинированная: лонжеронная в зоне наплыва и кесонная в корневой части с шеститочечным креплением к фюзеляжу. Силовой каркас консоли состоит из трех лонжеронов, 14 ориентированных по потоку нервюр и 8 стрингеров, установленных с постоянным шагом по постоянноному проценту хорды. Лонжероны в зонах однотипных профилей также проходят по постоянному про-

пенту хорды, что обеспечивает прямолинейность их поясов на участке между нервюрами 4—14. Стык консоли с бортовым наплывом несиловой.

Во внутренних объемах крыла размещены элементы систем управления элероном и закрылком. Гидроусилитель управления элероном установлен на II лонжероне между нервюрами 8—11. Силовой гидроцилиндр управления закрылком установлен на II лонжероне между нервюрами 4—6. Отсек, ограниченный лонжеронами I, II и нервюрами 1—7, герметизирован и представляет собой топливный бак-кессон. На нервюрах 8, 12 расположены узлы крепления съемных унифицированных пилонов для навески вооружения.

Технологическая информация

Членение и сборка. Сборка силовой части консоли должна производиться в стапеле общей сборки крыла. Там же должна производиться установка носка крыла, собираемого в отдельном стапеле. Навеску элерона и закрылка производить при окончательной сборке самолета после установки консоли на фюзеляже. Там же устанавливать съемный концевой обтекатель и съемные зализы, закрывающие место излома передней кромки по нервюре 4 и зазор между нервюрой 1 и бортом фюзеляжа.

Обшивка силовой (межлонжеронной) части крыла — листовая из материала В-95, с различной толщиной листов по участкам. Раскрой обшивки показан на схеме и аналогичен для верхней и нижней поверхностей крыла. На участке между нервюрами 7—14 обшивку выполнять из листа постоянной толщины и крепить на предварительно собранный каркас, включающий стрингеры. В зоне между нервюрами 1—7 обшивку выполнить в виде отдельных панелей, предварительно собранных со стрингерами. Среднюю панель верхней поверхности выполнить съемной на винтах. На участке между нервюрами 7—3 обшивку выполнить двойной из склеенных листов. Контур внутреннего листа на участке между нервюрами 1—3 показан на схеме пунктирной линией. Изменение толщины обшивки по размаху между нервюрами 7—1 допускается выполнять линейными за счет предварительной обработки внутреннего листа путем РХТ.

Лонжероны крыла выполнить в виде двух отдельных частей с последующей их стыковкой в зоне нервюры 4. Концевые части лонжеронов (нервюры 4—14) — сборной конструкции. Пояса их выполнить механическим фрезерованием из стандартного исходного профиля. Материал поясов В-95. Стенки лонжеронов изготавливать из листового материала В-95. Изменение толщины стенок по размаху — ступенчатое, обеспечивается путем РХТ. В необходимых местах стенки подкрепить стойками из стандартных профилей. Корневые части лонжеронов (нервюры 4—1) — цельнофрезерованные из штампованных заготовок. Материал — сталь 30ХГСА для лонжеронов II и III, В-95 для лонжерона I.

Рядовые нервюры выполнить штампованными из листового материала Д16АТ. Усиленные нервюры подкреплять профилями из того же материала.

Бортовую нервюру 1 выполнить цельнофрезерованной из материала 30ХГСА.

Стрингеры в корневой зоне крыла между нервюрами 1—7 выполнять механическим фрезерованием из исходного стандартного профиля двутаврового сечения. Материал стрингеров Д16АТ. В концевой зоне (нервюры 7—14) поставить поддерживающие стрингеры постоянного уголкового сечения из того же материала. Стыковку стрингеров осуществить на нервюре 7, 7а.

Нагрузки

Действующие на крыло нагрузки (рис. П2, вкладка) для двух основных расчетных случаев даны в табличном виде и в виде эюр. Распределение перерезывающей силы Q и изгибающего момента $M_{и}$ между лопжефонами, а также распределение крутящего момента $M_{кр}$ между контурами произведены в соответствии с общепринятыми методиками в предположении, что носок крыла воспринимает только местные нагрузки и в передаче Q , $M_{и}$ и $M_{кр}$ не участвует. Эюры Q , $M_{и}$ и $M_{кр}$ для элерона и закрылка даны для одного из основных расчетных случаев. Сосредоточенные усилия, действующие непосредственно на узел, приведены в дополнительной информации по узлу.

Расчетные условия

1. Назначенный ресурс конструкции $R_H = 5000$ л. ч.
2. Эксплуатационная температура для конструкции крыла $t^{\circ}_{\text{экспл}} = 100^{\circ}\text{C}$.
3. Ресурсные уровни расчетных допускаемых напряжений для основных материалов для условий 1 и 2,

ст. 30ХГСА — $[\sigma]_p = 1450$ мПа ;

В-95 — $[\sigma]_p = 450$ мПа ;

Д16АТ — $[\sigma]_p = 370$ мПа .

II. Дополнительная информация по узлу XXII

Компоновочная схема узла (рис. П3)

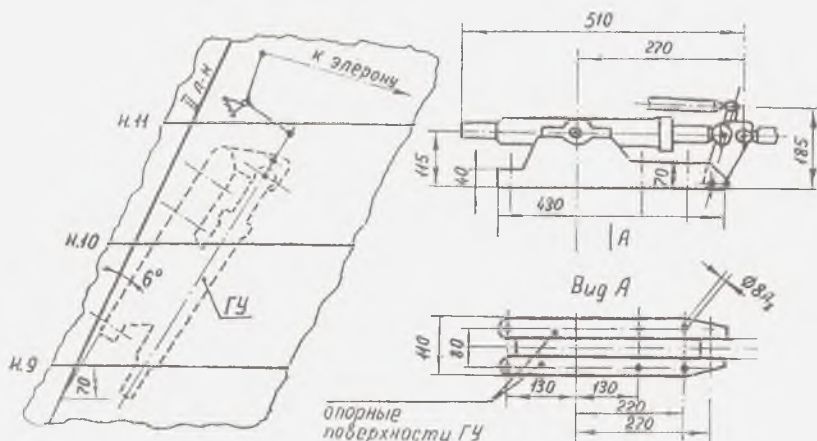


Рис. П3

Расчетные нагрузки

тяговое усилие на штоке ГУ
 масса гидроусилителя
 расчетные перегрузки

$$P_{\text{шп}} = \pm 15000 \text{ н}$$

$$G_{\text{гу}} = 20 \text{ кг}$$

$$n_y = -10, \quad n_x = \pm 3, \quad n_z = \pm 2,5.$$

Расчетные параметры

площади поясов лонжерона II

регулярной конструкции

$$F_{\text{п расч}} = 6,6 \text{ см}^2.$$

площадь стрингера

исх. проф. ПК329-9-В95

$$f_{\text{стр расч}} = 0,9 \text{ см}^2,$$

толщина обшивки

$$\delta_{\text{расч}} = 1,2 \text{ мм}$$

толщина стенки лонжерона II

$$\delta_{\text{ст расч}} = 1,5 \text{ мм}.$$

Дополнительные требования

Конструкция узла должна обеспечивать: надежное крепление ГУ при всех возможных эксплуатационных нагрузках; внешний осмотр, монтаж и демонтаж ГУ через монтажный лючок на нижней поверхности крыла; полную взаимозаменяемость ГУ.

Приложение 2

СИЛОВОЙ ВЕС: ПОНЯТИЕ И РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

(по А. А. Комарову)

Силовой вес — комплексный показатель, учитывающий интенсивность внутренних сил в конструкции и протяженность их действия. Общее выражение силового веса

$$G_c = \sum_{i=1}^{i=n} \sigma_{i \text{ пр}} v_i,$$

где v_i — объем i -го элемента конструкции;

$\sigma_{i \text{ пр}}$ — одноосное напряженное состояние, эквивалентное по удельной потенциальной энергии действительному напряженному состоянию элемента.

Приведенное напряжение $\sigma_{i \text{ пр}}$ определяется:

для одноосного напряженного состояния

$$\sigma_{i \text{ пр}} = |\sigma_i|;$$

для двухосного напряженного состояния

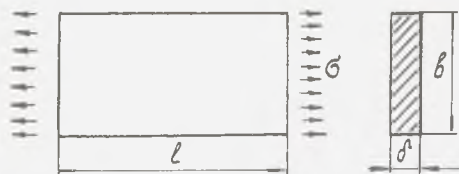
$$\sigma_{i \text{ пр}} = \sqrt{\sigma_{xi}^2 + \sigma_{yi}^2 - 2\mu \sigma_{xi} \sigma_{yi} + 2(1 + \tau_{xyi}^2)};$$

для объемного напряженного состояния

$$\sigma_{i \text{ пр}} = \sqrt{\sigma_{xi}^2 + \sigma_{yi}^2 + \sigma_{zi}^2 - 2\mu (\sigma_{xi} \sigma_{yi} + \sigma_{yi} \sigma_{zi} + \sigma_{zi} \sigma_{xi}) + \dots \rightarrow} \\ \dots \rightarrow + 2(1 + \mu) (\tau_{xyi}^2 + \tau_{yzi}^2 + \tau_{zxi}^2).$$

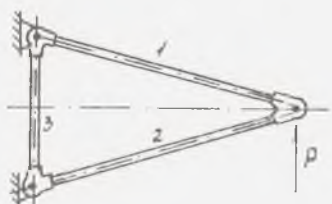
I Одноосное напряженное состояние
(растяжение - сжатие)

пластина:



$$G_c = 101 b \delta l$$

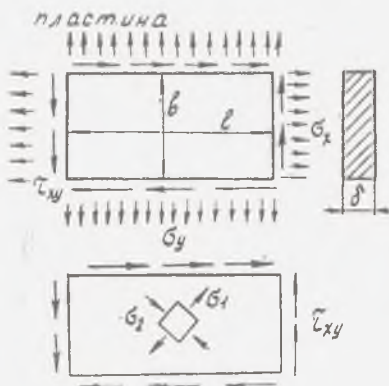
ферма:



$$G_c = \sum_{i=1}^{i=n} |N_i l_i|$$

где l — номер стержня,
 n — количество стержней,
 N_i — усилие в i -м стержне,
 l_i — длина i -го стержня.

II Двухосное напряженное состояние



$$G_c = b \delta l \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - 2\mu \sigma_x \sigma_y + 2(1+\mu) \tau_{xy}^2}$$

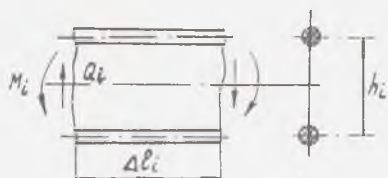
где μ — коэффициент Пуассона.

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= -\sigma_2 = \tau_{xy} \\ \sigma_{лр} &= \tau_{xy} \sqrt{2,6} \\ G_c &= b \delta l \tau_{xy} \sqrt{2,6} \end{aligned}$$

Рис. П4

II. Двухосное напряженное состояние

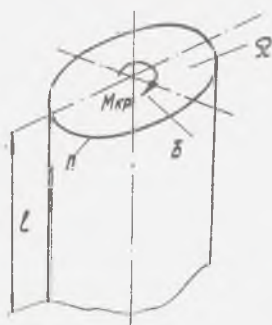
Балка:



$$G_c = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{2|M_i|}{h_i} \Delta l_i + \sum_{i=1}^{i=n} Q_i \sqrt{2,6} \cdot \Delta l_i,$$

где n — количество участков,
 M_i — изгибающий момент,
 Q_i — поперечная сила,
 h_i — высота сечения,
 Δl_i — длина элемента.

цилиндрическая оболочка
 (тонкостенная труба)



произвольный цилиндр —

$$G_c = \frac{M_{кр}}{2\Omega} \sqrt{2,6} \cdot \Pi l,$$

круговой цилиндр —

$$G_c = \frac{M_{кр}}{2} \sqrt{2,6} l,$$

где $M_{кр}$ — крутящий момент,
 l — длина цилиндра,
 Ω — площадь контура сечения,
 Π — периметр контура,
 r — радиус кругового цилиндра.



$$G_c = 2,8 r^2 p l,$$

где p — избыточное давление.

Рис. П5

Расчетные формулы силового веса для ряда типовых элементов конструкций приводятся на рис. П4, П5.

Приложение 3

ПОРЯДОК УКАЗАНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ НОМИНАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ НА ЧЕРТЕЖАХ

I. Общие положения

На отклонения размеров в СССР введен стандарт СЭВ 144-75, отменяющий все ранее действовавшие общесоюзные стандарты. Основные отличия СТ СЭВ от ранее действовавших ОСТ:

- а) вместо классов точности введены качества 01, 0, 1, 2, 3, ..., 17;
- б) основные отклонения отверстий и валов обозначаются соответственно прописными и строчными буквами латинского алфавита: *A, B, C, CD, D, E, EF, F, FG, G, H, Js, K, M, N, P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, ZA, ZB, ZC; a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g, h, js, k, m, n, p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb, zc*;
- в) после указания основного отклонения указывается номер качества, например, $\varnothing 18H8$ (для отверстия) или $\varnothing 18e7$ (для вала);
- г) разрешается сочетание различных качеств отверстия и вала по усмотрению конструктора;
- д) разрешены три способа указания посадок в чертежах:

$$F7/e6, H7-e6 \text{ или } \frac{F7}{e6};$$

- е) разрешены три способа нанесения предельных отклонений на чертежах: $18H7, 12e8$ или $18^{+0,018}, 12^{-0,032}_{-0,059}$ или $18H7(+0,018)$ $12e8^{-0,032}_{-0,059}$ — предпочтительный способ;

ж) в системе отверстия применяются отверстия *H6, H7, H8, H9, ...* с различными валами; в системе вала применяются валы *h6, h7, h8, h9, ...* с различными отверстиями;

з) с целью экономии предприятиям СССР рекомендовано использовать не все, а лишь ограниченное количество вариантов, предусматриваемых СТ СЭВ 144-75. Есть рекомендации по предпочтительным отклонениям; на КуАЗе внедрен еще более сокращенный вариант перечня размеров, используемых в чертежах; в учебных работах предлагается его использовать;

и) отклонения размеров под подшипники назначаются на общих основаниях в соответствии с СТ СЭВ 144-75.

II. Особые указания для литых деталей

Допуски на размеры между необрабатываемыми, а также на размеры между обрабатываемыми и необрабатываемыми поверхностями

узлов, изготавливаемых из литых заготовок, назначаются в соответствии с отраслевым стандартом ОСТ 1.41154-72. Эти допуски, в случае полного их соответствия указанному стандарту, в чертежах детали не указываются, кроме чертежей, где количество таких размеров невелико.

В технических требованиях чертежа дается примечание «Отклонения размеров отливки по ОСТ 1.41154-72 Лт ..., кроме указанных особо».

III. Особые указания для штампованных деталей

Допуски на размеры между обрабатываемыми и необрабатываемыми, а также на размеры между необрабатываемыми поверхностями узлов, изготавливаемых из штампованных заготовок, назначаются в соответствии с отраслевым стандартом ОСТ 1.41187-72 и обязательно указываются на чертеже в числовом виде. Кроме того, в технических требованиях чертежа дается примечание «Отклонения размеров штамповки по ОСТ 1.41187-72 класс точности...».

IV. Отклонения размеров, не указываемые на чертеже

Для второстепенных размеров, получаемых механической обработкой и не влияющих на прочность узла и на его сопряжение с другими деталями, разрешается отклонения в числовом виде не указывать, а в технических требованиях чертежа давать примечание «Неуказанные отклонения механически обрабатываемых поверхностей по нормам 722АТ».

В в е д е н и е	3
1. Общая характеристика задачи по проектированию узлов ЛА	7
1.1. Место процесса конструирования узлов в проектировании агрегатов	7
1.2. Общие требования к конструкции узлов ЛА. Пути их удовлетворения при проектировании	9
1.3. Система исходных данных для проектирования	13
2. Порядок проектирования узла и содержание этапов проектирования	16
2.1. Провязка геометрической информации по узлу	16
2.2. Выбор конструктивно-силовой схемы узла. Варианты и их анализ	16
2.3. Определение нагрузок на узел. Схема уравнивания узла	21
2.4. Проработка путей передачи усилий на уравнивание. Состав и структура конструкции узла, нагрузки на детали	31
2.5. Перечень возможных мест и типов разрушений. Перечень необходимых расчетов	37
2.6. Проработка конструкции узла	39
2.6.1. Проработка и конструктивное оформление стыков деталей	40
2.6.2. Проработка формы и размеров деталей	42
2.6.3. Использование отраслевых нормалей и ГОСТов	48
3. Оформление конструкторской документации	50
3.1. Оформление сборочного чертежа	50
3.2. Оформление директивной технологии	50
3.3. Оформление спецификации	51
3.4. Оформление пояснительной записки	51
3.5. Оформление рабочих чертежей деталей	51
Литература	53
П р и л о ж е н и я	55
Приложение 1. Исходные данные для разработки узлов конструкции крыла	55
Приложение 2. Силовой вес: понятие и расчетные формулы (по А. А. Комарову)	58
Приложение 3. Порядок указания отклонений номинальных размеров на чертежах	61