

*Духновский Денис Аскольдович*

студент

*Котлуков Фёдор Владимирович*

студент

*Попов Юрий Иванович*

канд. техн. наук, доцент, профессор

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет)»

г. Москва

DOI 10.21661/r-467050

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА КОНСТРУИРОВАНИЯ ЗАКЛЕПОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ**

*Аннотация:* в представленной работе приведены результаты разработки автоматизированной подсистемы конструирования заклепочного соединения. Описаны возможности её применения. Обозначена её методическая ценность.

*Ключевые слова:* проектирование, заклепочное соединение, стрингер, нервюра, интерактивная подсистема автоматизированного проектирования.

*Знания раскрывают нам двери,  
но войти в них мы должны сами.*

*Академик Д.С. Лихачев*

### **1. Введение**

Целью настоящей работы является создание автоматизированной подсистемы конструирования (АПК) заклепочного соединения стрингера и силовой нервюры с накладкой.

Разработанная АПК является не только инструментом для расчета конструктивных параметров, но и интерактивным средством приобретения навыков конструирования.

Специфика труда конструктора заключается как в объективном знании им физических закономерностей, методов формирования проектно-

конструкторских решений и критериев их оценки, так и в субъективном умении конструктора изобретать, находить оптимальные решения.

Конструирование заклепочных соединений стрингера с обшивкой является одной из базовых задач, выполняемой студентом-авиаконструктором для обретения понимания основных принципов конструирования всего летательного аппарата. Таким образом, студент, используя индуктивный метод познания, в конечном итоге будет не просто знать, но и прекрасно понимать основные нерушимые законы своего ремесла. В условиях жесткой конкуренции на мировом рынке и объективной необходимости в форсированной разработке новых авиалайнеров, отвечающих всем современным требованиям и способных на открытую конкуренцию с лучшими мировыми образцами необходимо в полной мере использовать новейшие технологии и приемы проектирования летательных аппаратов.

Одним из новшеств конструирования являются современные программы автоматизации расчетов. Многие задачи сегодня можно поручить различного рода программам и перераспределить внимание и усилия конструктора на более важные, на его взгляд, задачи. Однако такая помощь для молодого конструктора может стать и благом и злом одновременно, ведь будет так велик соблазн поручать машине всё больше и больше задач, при этом контролируя их выполнение все меньше и меньше. Соответственно для того, чтобы быть способным контролировать вычислительную технику и проверять сделанные ею расчеты необходимо не только знать, как именно выполняется та или иная задача традиционными методами, но также крайне необходимо понимать логику по которой программа проводит расчеты. Потребительские отношения и использование по типу «нажал и забыл» недопустимо при разработке летательного аппарата. Безусловно, грамотно написанная программа выдаст адекватный результат и предоставит справедливые конструкторские решения, однако, вполне вероятно, что эти решения не будут оптимальными [2, с. 73].

Процесс конструирования должен учитывать не только колоссальное количество параметров (в том числе и особенности эксплуатации), но и требует творческого подхода, изобретательства, на что на сегодняшний день ни один

компьютер не способен. Именно поэтому конструктор должен понимать логику программы, ведь только зная слабые места алгоритма он может внести в расчеты коррективы необходимые для нахождения решения наиболее близкого к идеальному для конкретного случая. Актуальность конструирования заклепочного соединения связана с тем, что в настоящее время, несмотря на существующую возможность применения различных видов неразъемных соединений деталей и узлов, в самолетостроении заклепочные соединения оказываются мало заменимыми при создании нерегулярных зон силовых элементов конструкции, удовлетворяющих эксплуатационным требованиям, требованиям прочности и жесткости, требованиям живучести, надежности, технологичности и др.

Заклепочные соединения применяются для образования неразъемных прочноплотных швов. Неразъемное прочноплотное соединение помимо передачи нагрузки обеспечивает герметизацию стыка [2, с. 233].

Специфика эксплуатации авиационных конструкций вынуждает конструкторов учитывать при проектировании неразъемных соединений ряд особых факторов. Почти на все узлы и агрегаты самолета воздействуют не только статические, но и динамические, вибрационные и, в ряде случаев, термические нагрузки. Усугубляющим фактором является вероятностный характер воздействия этих нагрузок.

Одним из важнейших факторов, влияющих на все летно-технические характеристики (ЛТХ) самолета, является его масса. Стремление к созданию конструкции минимальной массы не противоречит другим требованиям, предъявляемым к самолету, таким как надежность, технологичность, минимальная стоимость и т. п. Уменьшение взлетной массы самолета улучшает такие ЛТХ самолета, как потребная тяга для разных режимов полета, посадочная скорость самолета, высота полета и т. д.

Таким образом, основными этапами конструирования деталей и узлов авиационных конструкций, в том числе, нерегулярных зон (соединений) силовых элементов являются выбор материала, выбор формы сечения элементов, проведение расчета на прочность.

## 2. Конструирование заклепочного соединения стрингера и силовой нервюры с накладкой

Обратимся к конструированию заклепочного соединения стрингера и силовой нервюры с накладкой. Данное соединение применяется в качестве соединения стыков обшивки со стрингерами и нервюрами крыла.

Нервюры являются поперечным элементом конструкции крыла. Нервюры подразделяются на нормальные и усиленные (силовые). Основное предназначение нормальных нервюр заключается в сохранении формы профиля крыла. Нагружаются от воздушной нагрузки, передающейся на них с обшивки и стрингеров, и силами, возникающими вследствие деформации конструкции. Усиленные нервюры устанавливают в местах приложения сосредоточенных сил: местах крепления стоек шасси, узлов навески рулей, точек крепления внешних топливных баков, подвески вооружения, узлов навески механизации [1, с. 190]. Силовая нервюра приведена на рис. 1.

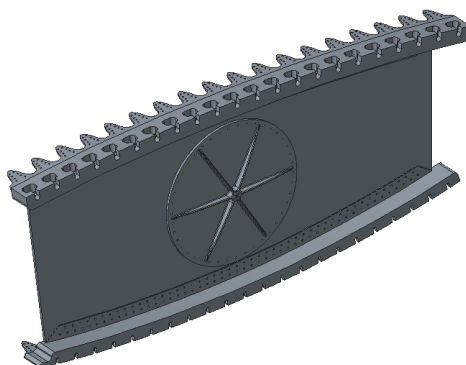


Рис. 1 Силовая нервюра

Стрингер – это продольный элемент, подкрепляющий обшивку. Нагружается осевыми усилиями от изгибающего момента крыла и поперечными силами от местной воздушной нагрузки [3, с. 74]. Основными нагрузками стрингера, определяющими прочность стрингера, являются продольные усилия.

Усиленные нервюры выполняют без просечек для стрингеров, разрезая и перестыковывая стрингеры через нервюру при помощи накладок. Стык стрингеров возле усиленной нервюры с помощью накладки через нервюру рис. 2.

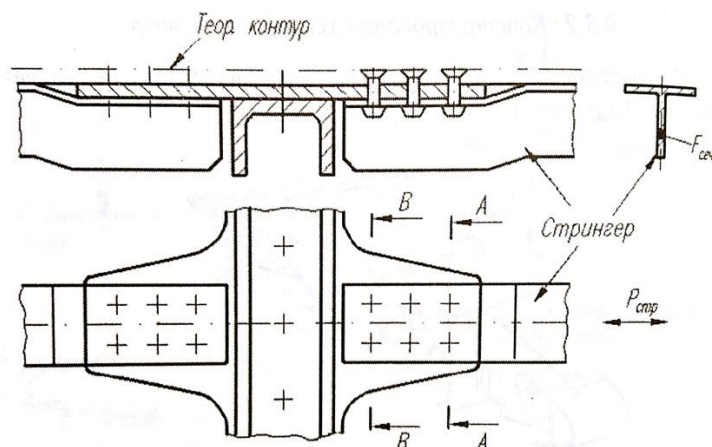


Рис. 2. Стык стрингеров возле усиленной нервюры  
с помощью накладки через нервюру

Заклепочное соединение должно быть спроектировано так, чтобы заклепка работала на срез.

Рассмотрим алгоритм проектирования заклепочного соединения. Порядок проектирования условно можно разделить на несколько этапов: определение прочности стрингера при заданной нагрузке; подбор заклепок; определение толщины накладки; расчет ширины накладки; проверка закрайки стрингера и накладки на срез заклепкой [4, с. 3–11].

Как было сказано выше, конструктор для того чтобы использовать современные автоматизированные средства конструирования должен понимать принципы их работы. Эти принципы должны быть изучены в планомерном процессе обучения ещё будучи студентом, так как отрасль нуждается в квалифицированных и хорошо подготовленных специалистах. Развитие конструкторских способностей, мастерства зависит не только от врожденного таланта, но и от тренировки. В современных же условиях эти тренировки включают в себя конструирование с применением учебного автоматизированного программного обеспечения. Следовательно, можно сделать вывод о необходимости создания максимально возможно простого, интуитивно понятного и доступного учебного программного обеспечения, которое будет демонстрировать принципы «машинной» логики, выполняя базовые конструкторские задачи, чтобы оператор мог

проверить оптимальность полученного результата путем традиционного расчета. Говоря о доступности программного обеспечения неизбежно встает вопрос о выборе программной платформы. Наиболее благоприятным выбором представляется Microsoft Excel современных версий. Excel обладает понятным интерфейсом, большой библиотекой встроенных функций и, наконец, чрезвычайно широкой распространенностью.

В данной работе представлена разработанная авторами подсистема конструирования (АПК) заклепочного соединения стрингера с силовой нервюрой с накладкой. Данная автоматизированная подсистема конструирования может применяться при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Конструирование узлов и агрегатов самолета».

Исходными данными для конструирования является заданная действующая нагрузка на стрингер, предполагаемый материал стрингера, предполагаемы профиль стрингера.

Результаты расчета – конструктивные параметры заклепочного соединения: материал стрингера, профиль стрингера, толщина накладки, длина накладки, ширина накладки в узком и широком местах, расстояние от края накладки до первой заклепки, диаметр заклепки, количество заклепок, межосевое расстояние, наименование заклепки, причем для заклепок с односторонним и двусторонним подходом, а также диаграмма распределения действующей силы по заклепкам.

Блок-схема алгоритма конструирования заклепочного соединения представлена на рис. 3.

АПК методически построена таким образом, чтобы наглядно пройти итерационный процесс выбора материала и профиля стрингера. Исходя из практического опыта, а также комбинаций исходных данных в вариантах заданий, количество итераций, связанных с заменой профиля стрингера ограничивается тремя. Отметим, что при необходимости (желании) оператор имеет возможность самостоятельно подобрать материал и профиль стрингера, используя справочную литературу и вручную внести данные в АПК.

Следует отметить, что структура построения АПК позволяет расширять ее функциональные возможности. Это может быть достигнуто путем добавления библиотек материалов, прессованных и гнутых профилей стрингеров, заданием новых нагрузок. Следует отметить возможность добавления новых модулей расчета, таких как, например, определение массы конструктивных элементов, расчет параметров герметичности неразъемного соединения. Важным фактором работы с АПК является, как говорилось ранее, её открытость, что позволяет оператору на любом этапе расчета вносить изменения, которые будут, по его мнению, целесообразны.

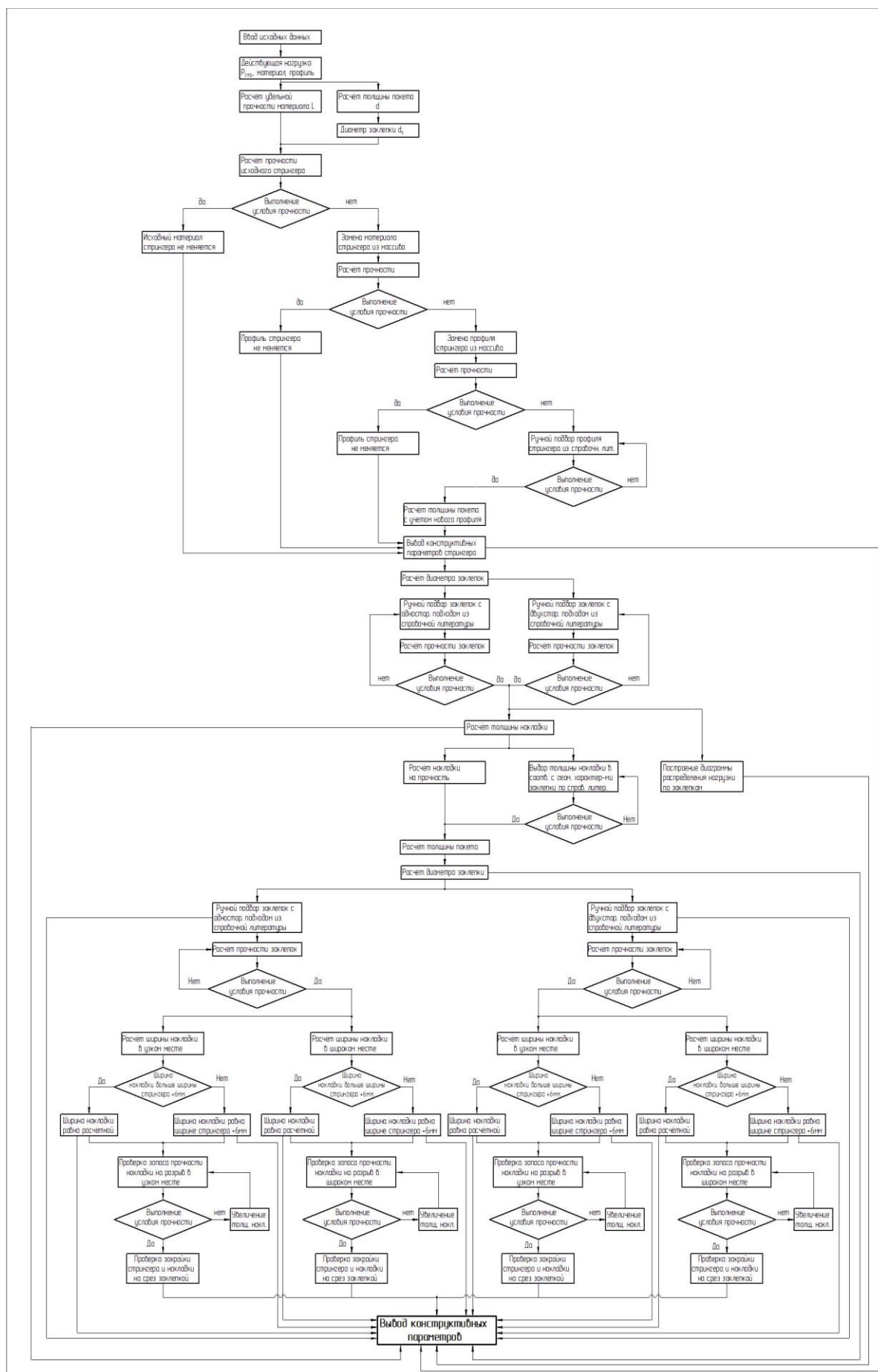


Рис. 3



При том, благодаря наглядному выводу на экран критериев оптимальности, таких как, например, коэффициент запаса прочности, оператор имеет возможность в режиме реального времени оценивать принятые им конструкторские решения.

### *3. Выводы*

1. Разработанная АПК является интерактивным, наглядно осуществляющим процесс конструирования, средством обучения.
2. АПК является открытой и позволяет вносить дополнительные библиотеки материалов, профилей, стандартных изделий.
3. Функции АПК могут быть расширены путем добавления новых расчетных модулей дополнительных параметров.
4. АПК целесообразно применять в учебном процессе в рамках лабораторного практикума.

### *Список литературы*

1. Ендогур А.И. Конструкция самолетов. Конструирование агрегатов планера: Учебник. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2012. – 496 с.
2. Ендогур А.И. Проектирование авиационных конструкций. Проектирование конструкций деталей и узлов: Учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2009. – 540 с.
3. Житомирский Г.И. Конструкция самолетов: Учебник для студентов авиационных специальностей вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 406 с.
4. Лещин А.В. Конструирование узлов планера самолета: Учебное пособие по курсовому проектированию / А.В. Лещин, Ю.И. Попов; под ред. Ю.И. Попова. – М.: Изд-во МАИ, 1992. – 104 с.