УДК 624.04:629.7.02 https://doi.org/10.26160/2542-0127-2026-18-14-20

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ПРИКРЕПЛЕНИЙ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Варданян Г.Б., Кочетов А.С., Самойленко Е.В.
Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва

Ключевые слова: стержень, связь, продольная ось стержня, твердое тело, шарнирное крепление, модель соединения, неподвижное соединение, мгновенная ось вращения.
Аннотация. В статье рассматриваются методические особенности изучения конструкции и работы подвижных и неподвижных узловых соединений элементов конструкции летательных аппаратов с использованием основных положений классической теории прикрепления твердых тел. Узловые соединения, методы их конструирования, расчетов на прочность и жесткость изучаются в инженерном авиационном вузе в дисциплинах «Детали машин», «Строительная механика авиационных конструкций», «Конструкция двигателя», «Конструкция самолета» и др. Важно, чтобы в учебном плане и рабочих программах по дисциплинам предусматривалась последовательность освоения соответствующих компетенций на основе общего научного подхода классической теории прикрепления. Рассмотрены практически значимые модели таких соединений.

METHODOLOGICAL FEATURES OF THE STUDY OF NODAL JOINTS OF AIRCRAFT STRUCTURAL ELEMENTS BASED ON THE THEORY OF ATTACHMENT OF SOLIDS

Vardanyan G.B., Kochetov A.S., Samoylenko E.V.
Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow

Keywords: rod, coupling, longitudinal axis of the rod, rigid body, hinge attachment, connection model, fixed connection, instantaneous axis of rotation.
Abstract. The article discusses the methodological features of studying the design and operation of movable and fixed nodal joints of aircraft structural elements using the basic principles of the classical theory of attachment of solids. Nodal joints, methods of their construction, calculations for strength and rigidity are studied at the aviation engineering university in the disciplines of "Machine parts", "Structural mechanics of aircraft structures", "Engine design", "Aircraft design", etc. It is important that the curriculum and work programs in the disciplines provide for a sequence of mastering relevant competencies based on the general scientific approach of the classical theory of attachment. Practically significant models of such compounds are considered.

Введение

Теория и практика создания узловых соединений является общеинженерной задачей, поскольку все инженерно-технические объекты, в том числе и авиационные конструкции соединяются из отдельных частей в единое целое посредством таких соединений [1-4]. В работе рассматриваются подвижные и неподвижные узловые соединений твердых тел. В инженерной авиационной практике при осуществлении различных прикреплений твердых тел число стержней связи обычно находится в интервале от шести до нескольких десятков. Например, прикрепление двигателя к планеру самолета (рис. 1), космического летательного аппарата к самолету (рис. 2), груза на внешней подвеске (рис. 3) и т.п.

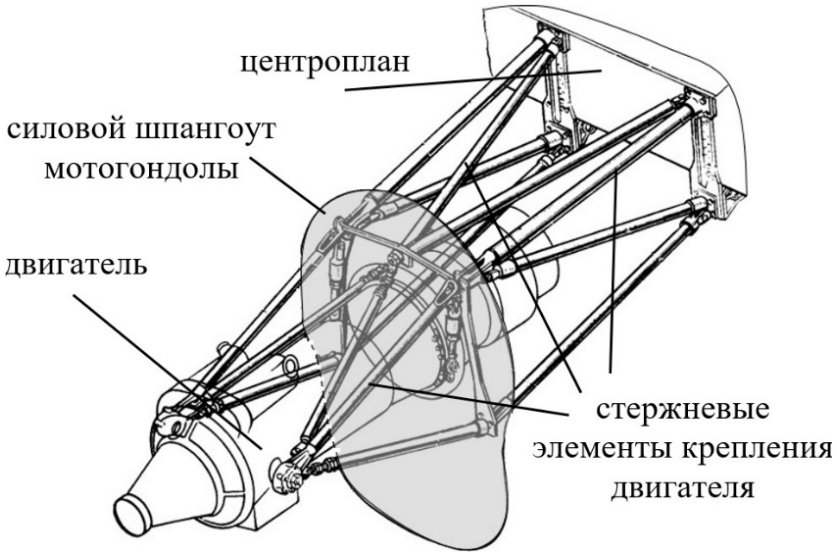


Рис. 1. Схема крепления двигателя самолета к центроплану



Рис. 2. Схема крепления космического летательного аппарата к самолету



Рис. 3. Схема крепления груза на внешней подвеске

Следует иметь ввиду, что реальные конструкции прикреплений вовсе не обязательно должны состоять из стержневых элементов, однако, любой другой тип прикрепления может быть представлен некоторой совокупностью стержней связи, как будет показано ниже.

Примеры применение теории прикреплений в самолетостроении

На современных летательных аппаратах к числу наиболее ответственных относятся прикрепления двигателя к основной силовой конструкции планера. В этом случае неподвижное узловое соединение должно обеспечить передачу всей совокупности внешних нагрузок, тяги и силы тяжести двигателя, гироскопических моментов и др. При этом должна быть обеспечена возможность температурного расширения. В качестве примера рассмотрим систему крепления двигателя RB-211, установленного на упругом пилоне под крылом. Основанием в этом случае является силовая балка пилона, к которой двигатель крепится посредством переднего и заднего узла подвески (рис. 4).

Передний узел включает шарнирно закрепленные на пилоне стержни 1 и 2, а также жестко закрепленную ось, установленную в опорный кронштейн двигателя с возможностью повороту относительно собственной продольной оси. Все перечисленные элементы лежат в одной плоскости П (рис. 5). Задний узел подвески включает шарнирно закрепленные стержни 3-5, причем стержни 3 и 5 лежат в одной плоскости С, а стержень 4 не лежит в этой плоскости.

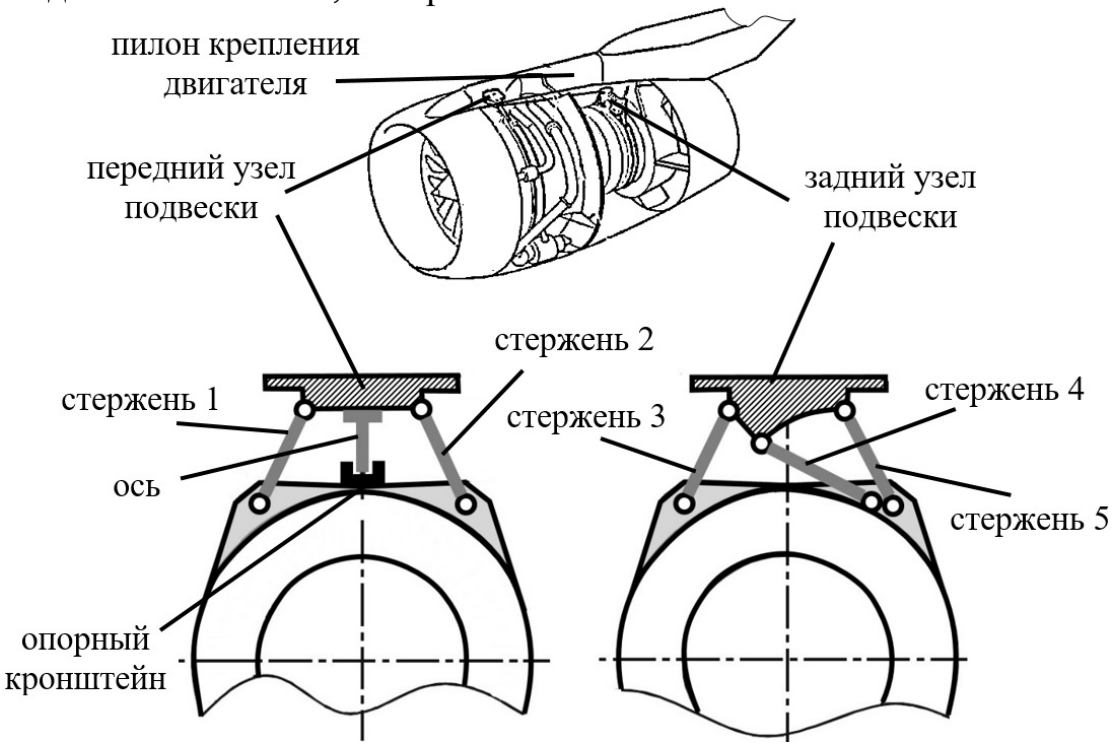


Рис. 4. Конструкция крепления двигателя RB-211 на пилоне под крылом

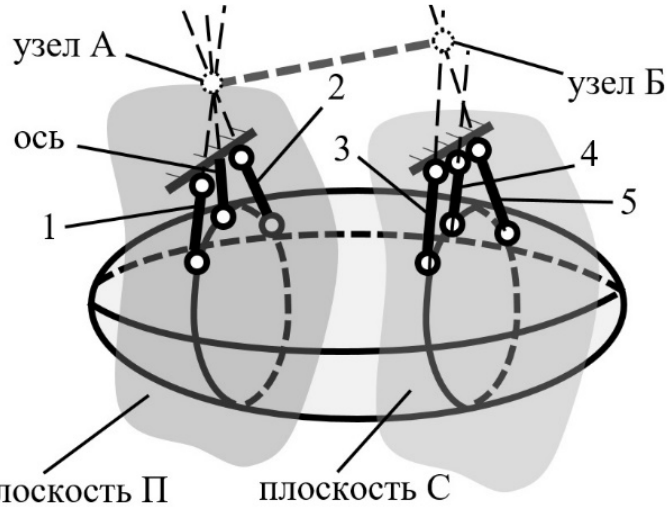


Рис. 5. Схема крепления двигателя RB-211 на пилоне под крылом

Анализ данного прикрепления показывает, что реализованы как необходимые (минимальное число опорных стержней шесть), так и достаточные условия классической теории прикреплений: стержни 1, 2 и 3 лежат в одной плоскости П, их продольные оси пересекаются в узле А, два стержня 3 и 5 пересекаются в узле Б, образуя плоскость С. Если бы не было других элементов крепления, то такое присоединение обладало бы мгновенной осью вращения АБ. Поэтому объективно необходимо установить еще один изолированный стержень 4, расположенный вне плоскости С так, что его ось не пересекает прямую АБ.

Здесь следует обратить внимание, что при разработке узлов крепления двигателя к пилону необходимо решать задачу разделения силовых потоков. В данном случае ось переднего узла подвески предназначена для восприятия и передачи на пилон тяги двигателя, в то время как стержневые элементы крепления предназначены для восприятия и передачи на пилон всех других видов нагрузки: боковых, вертикальных, крутящих моментов относительно всех осей связанной системы координат.

Рассмотрим систему крепления двигателя ПС-90А на упругом пилоне под крылом. Основанием (опорой) является балка пилона, к которой двигатель крепится посредством переднего, среднего и заднего узла подвески (рис. 6). Стержневая модель такого крепления показана на рисунке 7.

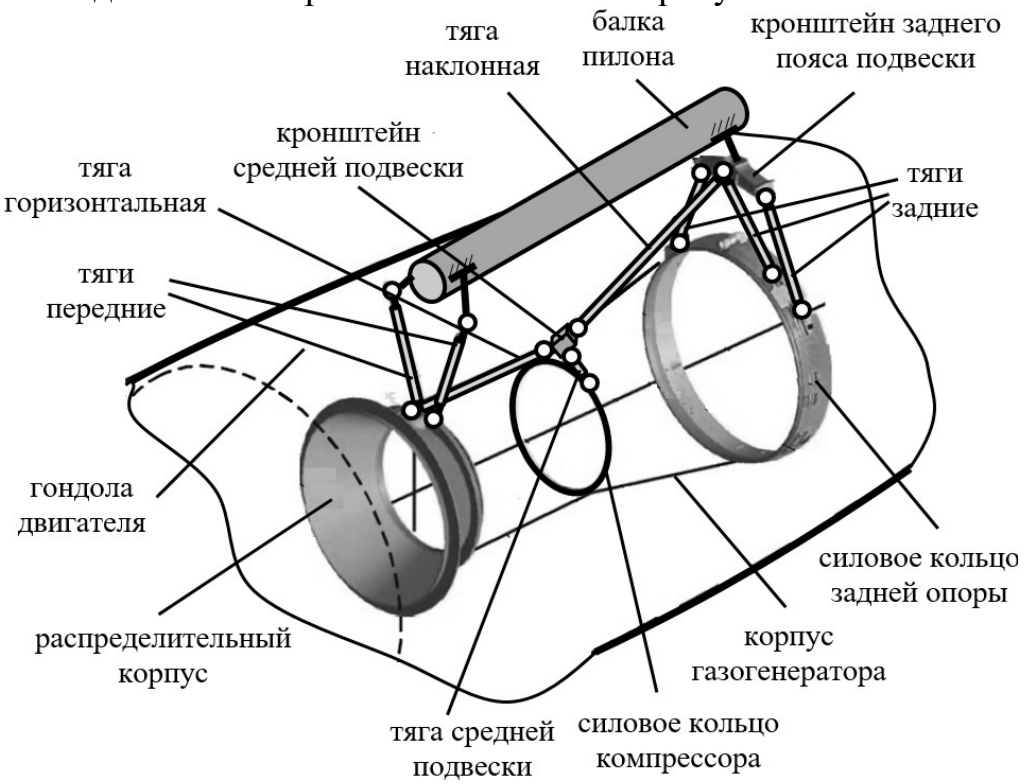


Рис. 6. Конструкция крепления двигателя ПС-90А на пилоне под крылом

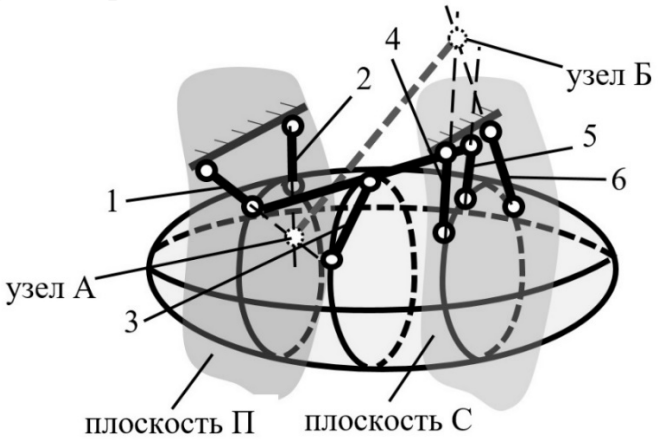


Рис. 7. Схема крепления двигателя ПС-90А на пилоне под крылом

Передний узел (рис. 7) включает шарнирно закрепленные на пилоне стержни 1 и 2 (передние тяги), а также шарнирно закрепленную на распределительном корпусе горизонтальную тягу, которая шарнирно связана с кронштейном средней подвести и через тягу наклонную передает силу тяги двигателя на кронштейн

заднего пояса подвески. Продольные оси стержней 1 и 2 лежат в плоскости П и пересекаются в узле А. Стержень 3 (тяга средней подвески) является дополнительным опорным элементом, позволяющим перераспределить нагрузку между передним и задним узлами подвески.

Задний узел включает шарнирно закрепленные на кронштейне заднего пояса подвески стержни 4, 5 и 6 (задние тяги). Продольные оси стержней 4 и 6 лежат в плоскости С и пересекаются в узле Б. Стержень 5 тоже лежит в плоскости С, но его продольная ось не проходит через узел Б. Если бы тяги 3 и 5 отсутствовали, то ось АБ являлась вы мгновенной осью вращения двигателя относительно пилона. Установка тяг 3 и 5 обеспечивает неподвижность прикрепления двигателя к балке пилона.

Схематизация реальных конструктивных узлов системой опорных стержней

При моделировании узловых соединений во многих случаях удобно переходить от реальной конструкции к некоторой эквивалентной стержневой системе. Рассмотрим примеры схематизации реальных конструктивных узлов, применяемых в авиастроении при соединении отдельных элементов и агрегатов, системой опорных стержней.

Пример 1. Радиальный шариковый подшипник (рис. 8). Подшипник представляет собой плоскую шарнирно – неподвижную опору, способную передавать нагрузки в направлениях осей *Ox* и *Oy*. При этом не передаются нагрузки вдоль оси *Oz*, а также такая конструкция не способна воспринимать моменты относительно всех осей.

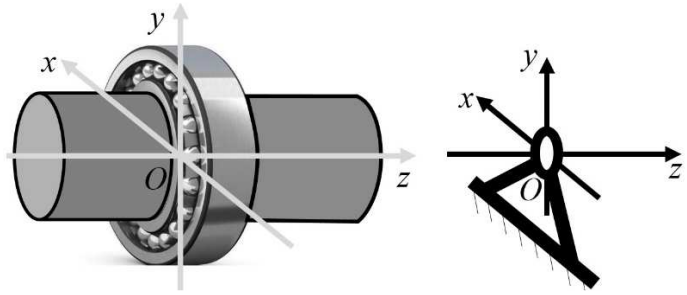


Рис. 8. Модель радиального шарикового подшипника

Пример 2. Радиально упорный шариковый подшипник (рис. 9). Подшипник представляет собой пространственную опору, способную передавать усилия в направлениях осей *Ox*, *Oy* и *Oz*. Относительно этих же осей передача моментов невозможна. Такой подшипник как опора представляет собой *пространственный шарнир*.

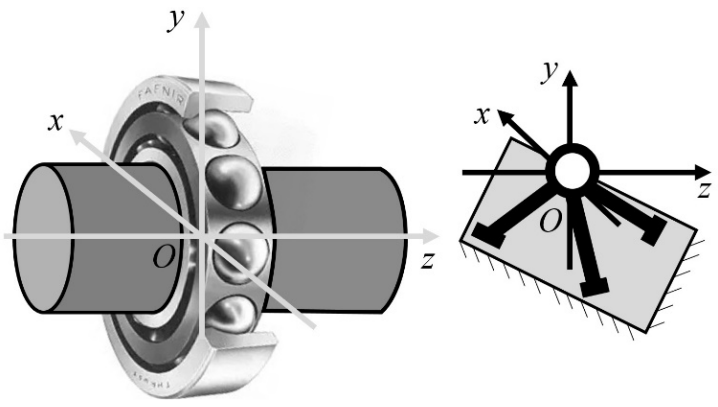


Рис. 9. Модель радиально упорного шарикового подшипника

Пример 3. Классическое соединение по схеме «ухо – вилка» (на рис. 10). Часто такое соединение выполняется с небольшим зазором между торцевыми поверхностями уха и вилки, вследствие чего передача усилий в направлении продольной оси соединительного болта *а- а* становится невозможной. Кроме того, если пренебрегать возможностью работы соединения на передачу крутящих моментов, то соединение представляется в виде обычной плоской *шарнирно неподвижной опоры*. Если же учитывать возможность работы соединения на передачу крутящих моментов, то схематизированное представление такой опоры посредством стержней связи (опорных стержней) имеет вид, показанный на рис.10.

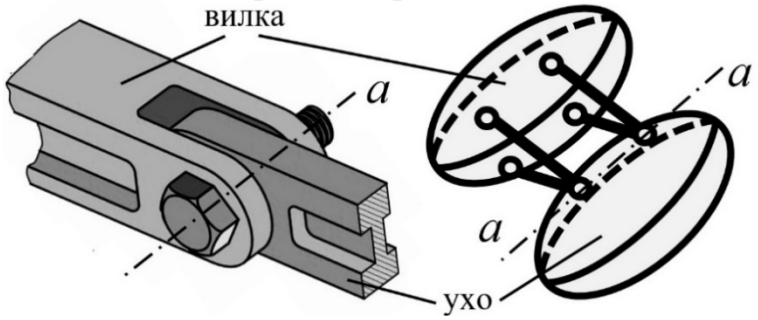


Рис. 10. Модель соединения «ухо – вилка»

Пример 4. Гребенчатое соединение (рис. 11). Обычно такое соединение выполняется без зазора между торцевыми поверхностями гребенки и вилки, вследствие чего осуществляется передача усилий в направлении всех трех осей. Учитывая разнесенные в пространстве проушины можно предполагать, что такое соединение способно передавать также крутящие моменты, за исключением моментов относительно оси *а-а*.

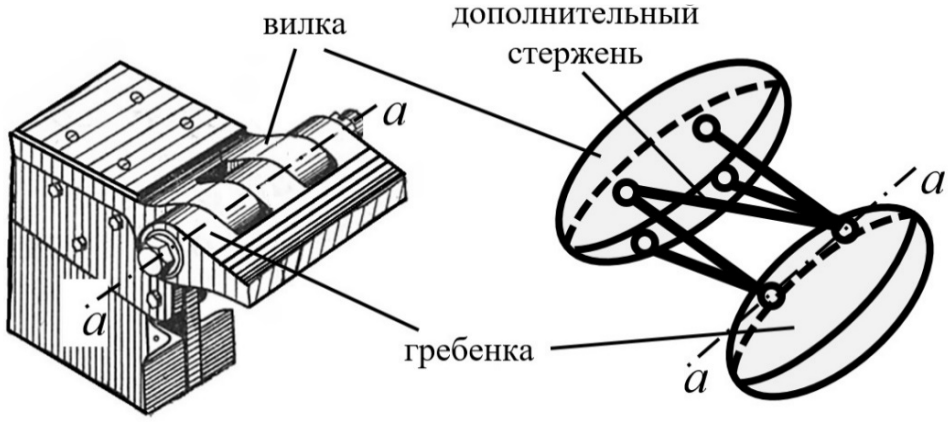


Рис. 11. Модель гребенчатого соединения

Выводы. В результате изучения конструкции и работы различных узловых соединений в базовых инженерных дисциплинах авиационного вуза у студента должны быть сформированы устойчивые компетенции, которые позволили бы не только правильно понимать назначение, конструкцию и работу узла, но и формировать адекватные и удобные для выполнения вычислений модели, например, стержневые. При этом понимание основных положений теории прикреплений является весьма важной частью подготовки инженера.

Список литературы

1. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели. – Пермь.: ОАО «Авиадвигатель», 2006. – 1203 с.

2. Овчинников В.В., Петров Ю.В., Плосков С.Ю., Пономарев А.Т., Стопкевич В.Г. Строительная механика боевых летательных аппаратов. – М.: Изд-во ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2009. – 373 с.
3. Майнсков В.Н. Проектирование соединений элементов авиационных конструкций. – Самара: Изд-во СГАУ, 2006. – 72 с.
4. Федоров В.Б. Технология сборки изделий авиационной техники: Тексты лекций. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. – 50 с.

Сведения об авторах:

Варданян Георгий Бенурович – к.т.н., доцент кафедры технической механики и инженерной графики;

Кочетов Александр Сергеевич – к.т.н., доцент кафедры технической механики и инженерной графики;

Самойленко Елизавета Васильевна – к.т.н., доцент кафедры технической механики и инженерной графики.