

ОБЩИЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ КОНСТРУКТИВНО-СИЛОВОЙ СХЕМЫ ДИСКРЕТНО-ОПЕРТЫХ АГРЕГАТОВ САМОЛЕТОВ ИЗ КОМПОЗИТОВ

Применение композиционных материалов (КМ) наиболее целесообразно в конструкциях с максимально детерминированным характером нагружения. В этом случае снижение массы пропорционально отношению значений удельной прочности материалов. Однако большинство конструкций самолетов находятся в условиях существенно неоднородного напряженного поля и для них вынуждены использовать сложные схемы армирования КМ и допускать значительные запасы прочности в объеме (по поверхности) детали или агрегата.

Нормальное функционирование самолета обеспечивается большим количеством агрегатов, характеризующихся дискретным опиранием. К таковым относятся органы управления и средства механизации (рули, элероны, закрылки и др.), двери, тормозные щитки, крышки люков, рампы, трапы многое другое. Общей характеристикой этих элементов является то, что они интегрированы в общую конструкцию самолета через несколько, чаще всего, шарнирных опор и кронштейны подвода управляющего (или уравнивающего) усилия. Напряженно-деформированное состояние дискретно-опертых конструкций отличается большой неоднородностью, приводящей к необходимости всевозможных усиления для распределения усилий по большей площади. Такие конструкции из металлов состоят из обшивки и силового каркаса в виде балок, рам, бимсов и т.п., что, вероятно, связано со стремлением инженеров упорядочить восприятие и передачу внешних сил и обеспечить более-менее наглядную схему управления силовыми потоками. Немаловажным преимуществом таких конструктивно-силовых схем (КСС) является возможность использования для их проектировочного расчета на прочность расчетных схем балки, пластины, стержня и т.п. Обшивка большинства дискретно-опертых агрегатов предназначена для восприятия и передачи аэродинамических сил на каркас и, будучи опертой по всему контуру, она может рассчитываться по классическим моделям пластин или панелей.

Одна из первых попыток разработки методики проектирования дискретно-опертых панелей предпринята в работе [1], в которой рассматривалась прямоугольная панель с наполнителем с опиранием по трем углам (рис. 1). КСС включает себя силовую балку, опирающуюся на две угловые опоры, и трехслойную панель, которая моделируется бесконечным количеством элементарных балочек, опирающихся на одну внешнюю опору и на каркасную балку (см. рис. 1). Результаты расчета

показали, что минимальной массой обладает конструкция с веерной укладкой армирующих нитей в несущих слоях. В этой статье не обсуждаются вопросы взаимодействия соседних элементарных балочек, т.е. не указаны условия их совместного деформирования.

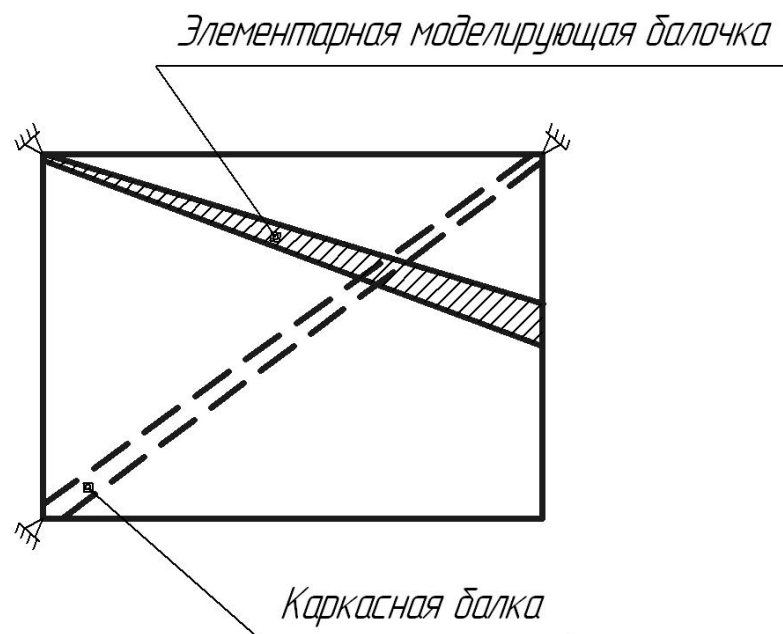


Рисунок 1 – Трехточечно-опертая панель

Исследованные КСС отличаются детерминированным характером нагружения, т.е. балки воспринимают и передают на опоры свойственную им поперечную нагрузку. Таким образом, хотя сам проектируемый агрегат нагружен произвольной системой внешних сил, его структурные элементы обеспечивают рациональный характер нагружения и, соответственно, высокую эффективность применения КМ.

На основании сказанного выше можно обосновать и сформулировать основной принцип конструирования дискретно-опертых агрегатов – обеспечение монотонно изменяющегося простого напряженно-деформированного состояния во всех элементах конструктивно-силовой схемы.

Реализация этого принципа конструирования возможна путем синтеза силового каркаса из стержней, балок замкнутых тонкостенных контуров, пластин с опиранием по всему контуру и т.п. Каждый из этих элементов воспринимает только свойственный ему вид внешних или внутренних усилий. Например, балка воспринимает перерезывающую силу, а ее элементы – полки и стенка – работают преимущественно на растяжение (сжатие) и на сдвиг соответственно. При такой организации силовых потоков можно достичь высокой отдачи от использования компози-

Сформулированный выше принцип конструирования созвучен дифференциальному методу проектирования, предложенному В.Е. Гайдачуком в работе [2], который заключается в том, что для восприятия какого-либо компонента напряженного поля в структуре композиционного материала предусматривается соответствующая укладка волокон (нитей), а предложенный выше принцип предусматривает управление силовыми потоками в соответствии с функциональными возможностями конструктивных элементов.

Рассмотрим возможность реализации сформулированного принципа на примере убираемого трапа, являющегося элементом бортового оборудования транспортного самолета и служащего для обеспечения погрузки-выгрузки автомобилей и другой техники (рис. 2). К трапу предъявляются требования легкости (для обеспечения его установки обслуживающим персоналом), жесткости (чтобы прогиб не вызывал нерасчетных видов нагружения) и прочности (для достаточного эксплуатационного ресурса).

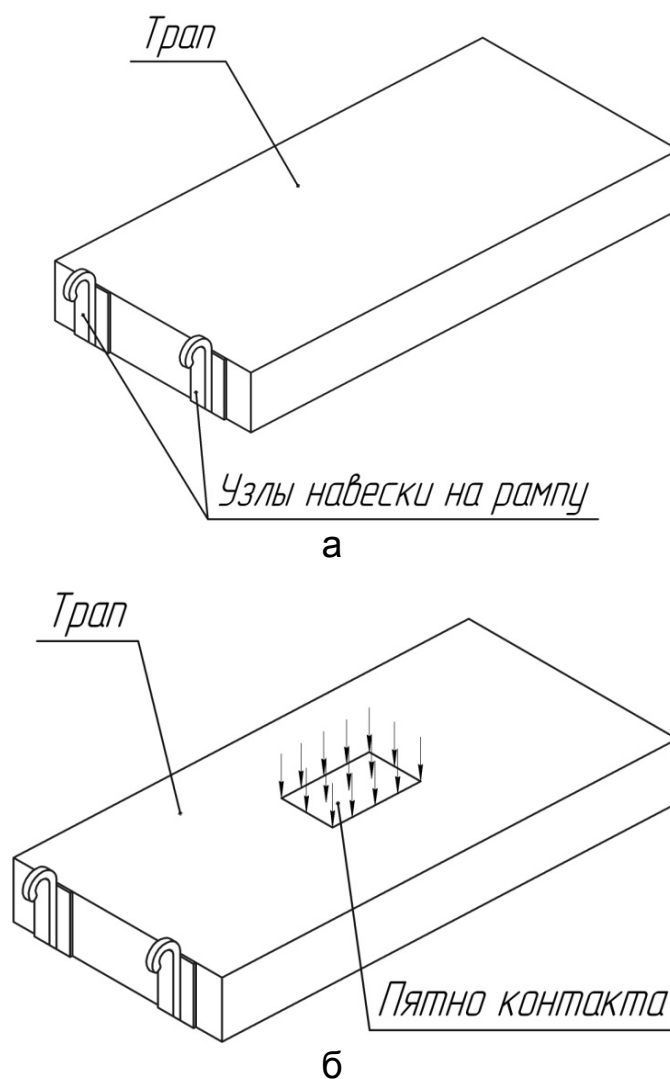


Рисунок 2 – Убираемый трап:
а – схема трапа, б – схема нагружения

Конструктивно трап может быть выполнен по одной из следующих конструктивно-силовых схем:

- трехслойная панель с жестким наполнителем и окантовкой по краям. В этом случае несущий слой находится в сложном и неоднородном напряженном состоянии с большими коэффициентами концентрации напряжений по углам (рис. 3, а);

- верхняя обшивка, подкрепленная продольными балками, опирающимися на крайние поперечные балки, к одной из которых крепятся узлы навески на рампу, а другая опирается на покрытие аэродрома (рис. 3, б);

- верхняя обшивка, подкрепленная системой поперечных балок, опирающихся на две продольные балки (рис. 3, в).

Передняя поперечная балка во всех трех схемах опирается на два узла, т.е. это балка на двух опорах с достоверно прогнозируемым характером нагружения и деформирования. Задняя поперечная балка ложится на покрытие аэродрома и из-за неровностей она опирается, как правило, на две точки, причем все возможные пары точек контакта являются равновероятными. В качестве расчетных точек следует принять крайние, для которых балка наиболее нагружена.

В первой КСС (см. рис. 3, а) сосредоточенная нагрузка по пятну контакта (см. рис. 2, б) передается от обшивки на продольные окантовывающие балки в соответствии с известным из теории анизотропных пластин распределением изгибающих и крутящих моментов, перерезывающих сил и мембранных усилий. Обшивки панели находятся в сложном напряженном состоянии, а наполнитель воспринимает касательные усилия в двух плоскостях.

Во второй КСС трапа (см. рис. 3, б) нагрузка от продольных подкрепляющих балок передается по кратчайшему пути на поперечные каркасные балки. В этом случае обшивка исключается из общей КСС, так как служит для местной передачи усилий на продольные балки и согласно известному факту [3] должна быть армирована в поперечном направлении.

В третьей КСС (см. рис. 3, в) действующая нагрузка через поперечные подкрепляющие балки передается на продольные каркасные балки, а от них на опоры. Обшивка играет вспомогательную роль и рациональной для нее является схема армирования КМ в продольном направлении.

Таким образом, вторая и третья КСС (см. рис. 3, б, в) достаточно полно реализуют сформулированный принцип конструирования дискретно-опертых агрегатов. Расчет на прочность и жесткость состоит из расчета продольных (поперечных) подкрепляющих балок на двух опорах и поперечных (продольных) каркасных балок, нагруженных реакциями опор подкрепляющих элементов. В этих КСС реализуется простое напряженное состояние полок балок (растяжение-сжатие) и стенок

(сдвиг) при умеренных градиентах изменения усилий. При соответствующем армировании детерминированным становится и напряженное состояние обшивки.

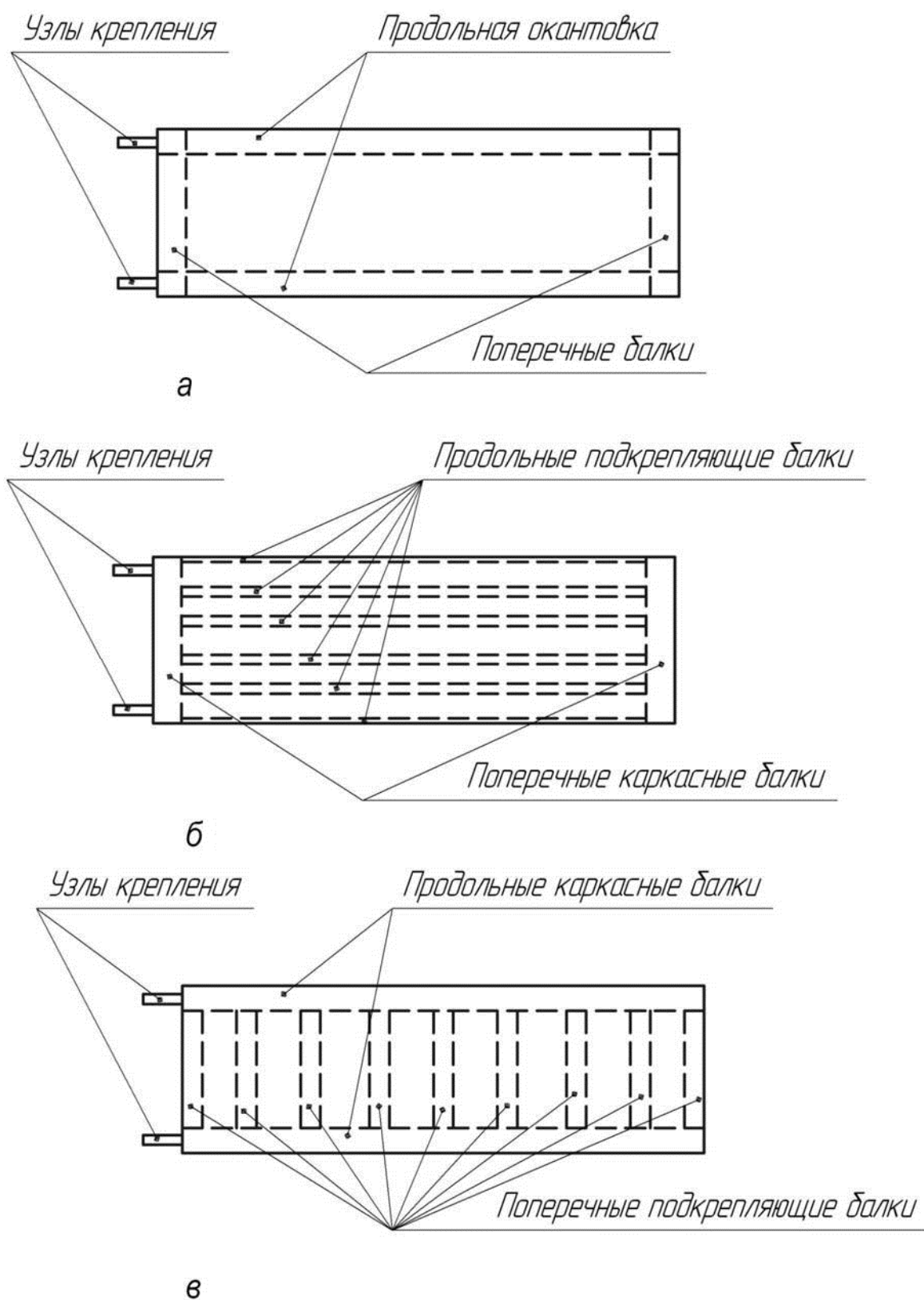


Рисунок 3 – Конструктивно-силовые схемы трапа

Выводом по работе является формулировка основного принципа конструирования дискретно-опертых агрегатов самолета и демонстрация возможности его реализации на примере убираемого трапа транспортного самолета.

Список использованных источников

1. Карпов, Я.С. Методика эскизного проектирования дискретно-опертых трехслойных панелей из композиционных материалов [Текст] / Я.С. Карпов, В.П. Копычко // Вопросы оптимизации тонкостенных силовых конструкций летательных аппаратов: темат. сб. науч. тр. / Харьк. авиац. ин-т им. Н.Е. Жуковского. – Вып. 4. – Х., 1983. – С. 3 – 7.

2. Гайдачук, В.Е. О принципах и проблемах проектирования авиаконструкций из композиционных материалов [Текст] / В.Е. Гайдачук // Самолетостроение. Техника воздушного флота: респ. межвед. темат. науч.-техн. сб. – Вып. 36. – Х., 1975. – С. 51 – 56.

3. Карпов, Я.С. Проектирование деталей и агрегатов из композитов [Текст]: учебник / Я.С. Карпов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2010. – 768 с.

Поступила в редакцию 15.07.2013.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.В. Гайдачук,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*