

МЕТОД СИНТЕЗА КОНЕЧНО–ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ УСИЛЕННОГО ШПАНГОУТА ФЮЗЕЛЯЖА

Введение

Одной из важнейших задач, решаемых в процессе проектирования самолетов транспортной категории, является задача анализа распределения напряжений в конструкции силового шпангоута фюзеляжа [1]. Существуют различные интегральные методы проектирования силового шпангоута и расчета параметров его элементов [1–4]. Однако всем им присущ один принципиальный недостаток, связанный с невозможностью точного определения нагрузок, действующих на элементы шпангоута, особенно в местах их соединения, поскольку интегральные методы расчета не позволяют учитывать взаимное влияние деформаций большого количества элементов. Интегральные методы также не учитывают влияние деформаций элементов конструкции прилегающих зон отсека фюзеляжа, которые оказывают существенное влияние на распределение нагрузок, действующих на шпангоут. Для решения этой проблемы в результаты интегральных расчетов вводятся различного рода поправки, величина которых, в основном, определяется на основании эмпирических зависимостей, разработанных на основании экспериментальных данных, полученных для существующих классов конструкций. Таким образом, интегральные методы расчета параметров жесткости элементов силового шпангоута не обеспечивают необходимую точность определения нагрузок, действующих на отдельные элементы его конструкции, что затрудняет определение зон концентрации напряжений. Кроме того, необходимость использования эмпирических поправок сужает диапазон конструкций, для которых может выполняться анализ напряженно–деформированного состояния (НДС).

Наиболее эффективным методом решения задачи определения влияния деформаций на НДС конструкции является метод конечного элемента (МКЭ), который является универсальным методом расчета НДС произвольных конструкций.

В статье описываются особенности синтеза конечно–элементной модели (КЭМ) силового шпангоута фюзеляжа самолета транспортной категории. КЭМ силового шпангоута является частью общей КЭМ фюзеляжа. Показано, что КЭМ усиленного шпангоута может синтезироваться путем присоединения дополнительных КЭМ усиливающих элементов к исходной (базовой) КЭМ, построенной по алгоритму, разработанному для типового шпангоута. Для каждого усиливающего элемента разрабатывается отдельный класс алгоритма

синтеза КЭМ. Предложенная методика синтеза КЭМ силового шпангоута, разработана для объектно–ориентированной информационной технологии (ИТ), реализованной в объектно–ориентированной системе управления данными "SPACE".

Анализ проблемы

Для объединения нескольких КЭМ в единую структуру требуется, чтобы в зоне стыка присутствовали узлы с одинаковыми координатами. Взаимодействие КЭМ в рамках синтезируемой модели возможно только тогда, когда в их структурах имеются конечные элементы (КЭ) с одинаковыми номерами узлов. Существует два метода объединения КЭМ [5]: метод непосредственного соединения и метод, при котором для объединения КЭМ используются специальные дополнительные КЭМ. Первый метод используется для соединения КЭМ, синтез которых связан со взаимным согласованием структур и координат граничных узлов. К такому классу моделей относятся КЭМ элементов усиления. Особенностью алгоритмов синтеза таких моделей, является то, что они синтезируются после синтеза базовой КЭМ. Поэтому базовая КЭМ усиленного шпангоута синтезируется самостоятельно, в рамках формирования КЭМ регулярной зоны отсека фюзеляжа. Для синтеза КЭМ усиливающих элементов требуется получение данных о координатах узлов базовой КЭМ, которые должны включаться в структуру присоединяемых КЭМ. При этом возникает проблема прямого обмена данными между синтезируемыми КЭМ усиливающих элементов и готовыми базовыми КЭМ.

Анализ нерешенных вопросов

Поскольку метод автоматизированного синтеза КЭМ усиливающих элементов основан на прямом обмене данными с базовыми КЭМ, для его реализации требуется использовать средства ИТ, включающие полноценные функции управления данными, которые поддерживаются современными системами управления базами данных (СУБД). В отличие от САД–систем, в состав современных программных пакетов, использующих МКЭ, например, MSC.Nastran и ANSYS, не входят специальные системы управления данными [6, 7], что существенно затрудняет процесс согласования КЭМ усиливающих элементов с базовыми КЭМ, вынуждая разработчиков моделей обмениваться данными через файлы или бумажные носители. Все это приводит увеличению количества ошибок поиска и идентификации данных [8], что связано с ограниченными возможностями файловых систем, использующих фиксированные перечни атрибутов файлов, недостаточные для их эффективного поиска и идентификации. Поэтому, с целью надежной идентификации, производится преобразование данных в текстовый

формат, позволяющий передавать дополнительные атрибуты данных, в результате чего увеличивается вероятность искажения данных [9]. Наконец, возникают серьезные проблемы со своевременной актуализацией данных, поскольку копирование информации во временный файл, как правило, происходит вне основного процесса обработки данных и его своевременность часто зависит от внимательности исполнителей.

Таким образом, существующие средства ИТ синтеза КЭМ не позволяют решить задачу синтеза КЭМ усиленного шпангоута самолета транспортной категории, так как в них используются методы обмена данными, основанные на ручном преобразовании форматов данных.

Постановка задачи

Задачей исследований является разработка метода автоматизированного синтеза КЭМ силового шпангоута, основанного на прямом обмене данными, не требующим их ручного преобразования.

Принцип декомпозиции

Главной особенностью усиленного шпангоута является то, что в его конструкцию входит большое количество дополнительных элементов, предназначенных для восприятия нагрузок от крыла, горизонтального оперения, шасси, а также от различных крупных объектов, находящихся внутри фюзеляжа. При этом для каждого варианта нагружения требуется собственный вариант конструкции усиленного шпангоута. В результате количество вариантов конструкции становится чрезвычайно большим, а значит, принцип декомпозиции, при котором для каждого варианта конструкции разрабатывается свой вариант алгоритма синтеза структуры КЭМ, не является оптимальным.

В результате анализа принципов проектирования элементов поперечного набора фюзеляжа самолетов транспортной категории, изложенных в [10, 11], были установлено, что, вне зависимости от конкретного варианта нагружения, структура КЭМ любого произвольного варианта усиленного шпангоута может быть сформирована на основе базовой КЭМ, моделирующей конструкцию типового шпангоута, путем присоединения к ней следующих классов усиливающих элементов (рис. 1.):

- вертикальное усиление;
- горизонтальная балка;
- "низинка",
- стенка гермошпангоута;
- кронштейн;
- вертикальный "стояк".

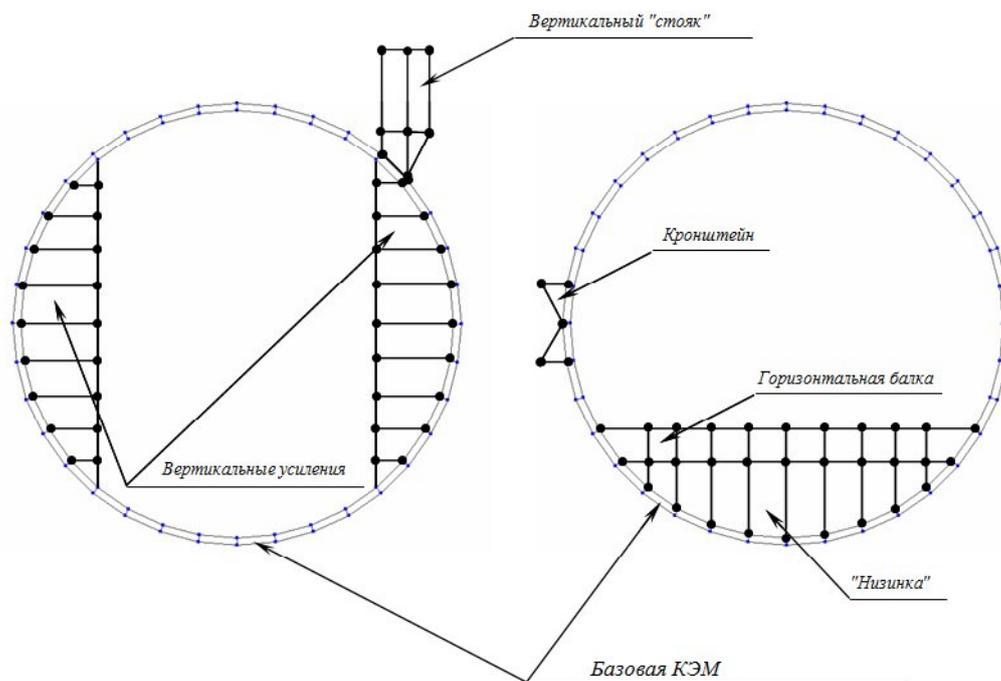


Рис. 1. КЭМ усиливающих элементов шпангоута

Кроме КЭМ усиливающих элементов, в структуру КЭМ силового шпангоута может входить особый компонент, с помощью которого формируются различного рода "вырезы", изменяющие структуру базовой КЭМ.

Структура КЭМ отсека фюзеляжа, сформированная на основе такого принципа декомпозиции, приведена на рис. 2.

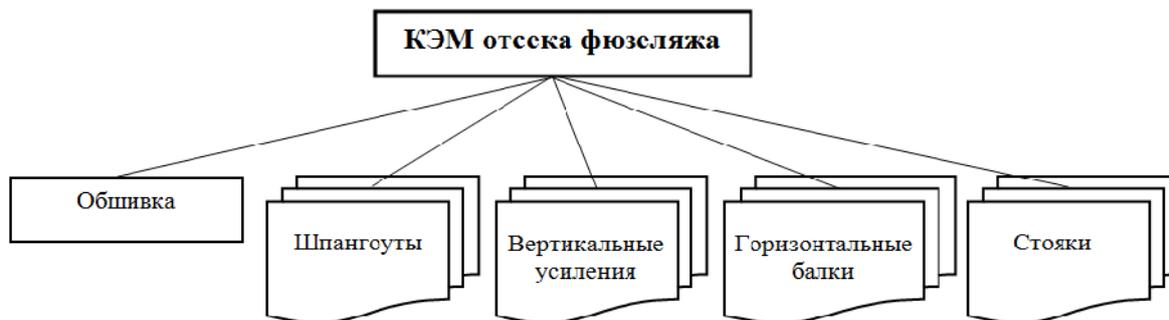


Рис. 2. Структура КЭМ отсека фюзеляжа с усиленными шпангоутами

Из приведенной структуры КЭМ отсека фюзеляжа видно, что КЭМ усиливающих элементов располагаются на том же уровне декомпозиции, что и элементы продольного и поперечного набора. Установление связей между КЭМ усиливающих элементов и базовыми КЭМ осуществляется с помощью пользовательского интерфейса, который должен поддерживаться объектами, содержащими КЭМ усиливающих элементов. Для этого

структура пользовательского интерфейса указанных объектов должна содержать выпадающие списки обозначений типовых шпангоутов (рис. 3.).

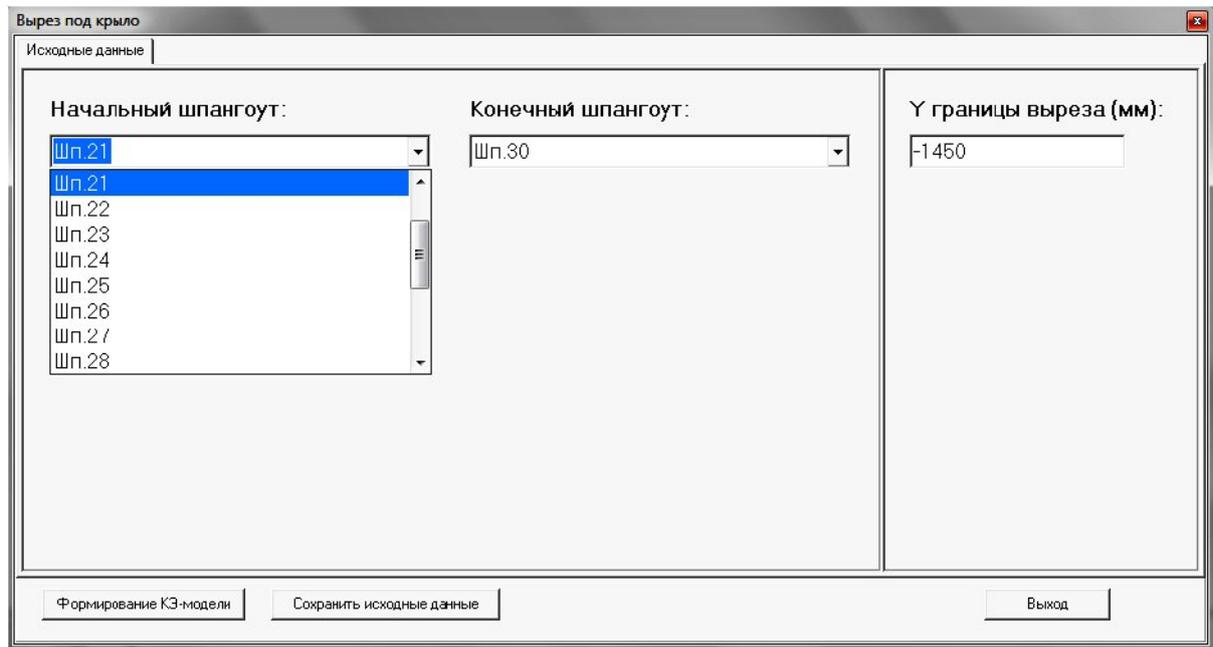


Рис. 3. Типовой пользовательский интерфейс объекта, формирующего КЭМ усиливающего элемента

Метод синтеза КЭМ

Предлагаемый метод автоматизированного синтеза разработан с учетом внутреннего представления КЭМ, описанного в [5]. КЭМ усиливающих элементов включаются в КЭМ отсека фюзеляжа после формирования регулярной КЭМ отсека (рис. 4.). В качестве исходных данных для синтеза КЭМ усиливающих элементов используются координаты узлов граничных сечений уже существующих КЭМ типовых шпангоутов.

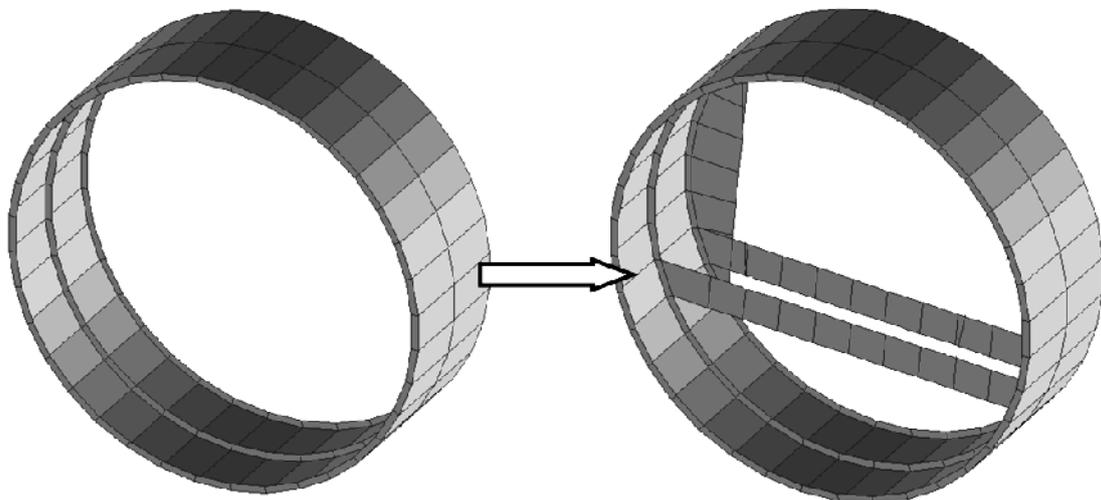


Рис. 4. Две стадии формирования КЭМ отсека фюзеляжа с усиленными шпангоутами

Формирование КЭМ усиленных шпангоутов осуществляется в следующей последовательности.

Шаг 1. Синтез КЭМ типовых шпангоутов. КЭМ типовых шпангоутов формируется в процессе синтеза регулярной КЭМ отсека фюзеляжа. КЭМ типовых шпангоутов являются базовыми моделями для синтеза КЭМ отсека, поскольку в них содержатся все узлы регулярной модели отсека фюзеляжа.

Узлы КЭМ шпангоута делятся на две группы: внешние (базовые), расположенные на контуре соответствующего сечения, и внутренние, расположенные эквидистантно базовым узлам. Если КЭМ центрального отсека фюзеляжа используется как часть КЭМ кессона крыла, шаг стрингеров может считаться постоянным, равным $\Delta\theta = \frac{360^\circ}{n}$, где n – количество стрингеров (рис. 5).

Соответственно, координаты внешних узлов определяются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} X_i &= X_0, Y_i = Y_0 + R \cdot \cos(\theta), \\ Z_i &= Z_0 + R \cdot \sin(\theta), \theta_i = \Delta\theta \cdot i, \end{aligned}$$

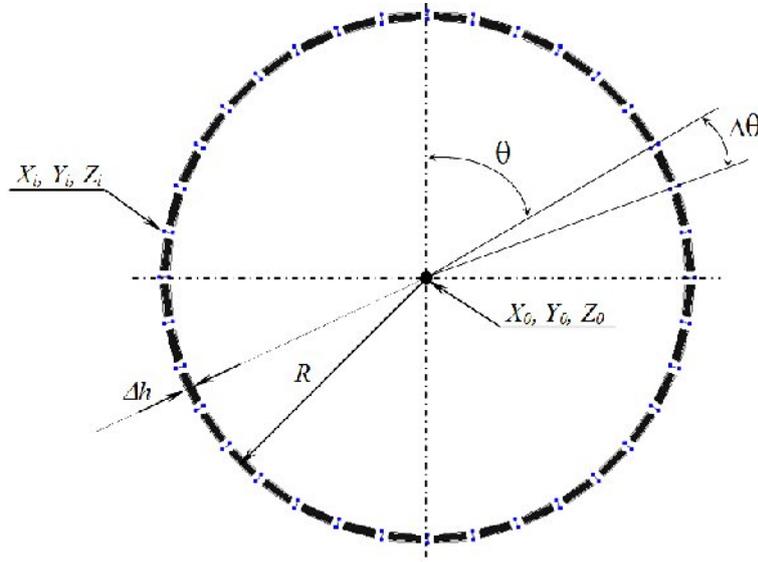


Рис. 5. Схема определения координат узлов КЭМ шпангоута
а координаты внутренних узлов по формулам:

$$\begin{aligned} X_i &= X_0, \\ Y_i &= Y_0 + (R - \Delta h) \cdot \cos(\theta), \\ Z_i &= Z_0 + (R - \Delta h) \cdot \sin(\theta), \\ \theta_i &= \Delta\theta \cdot i. \end{aligned}$$

Номера узлов КЭМ шпангоута записываются во временную таблицу распределения номеров узлов КЭМ, состоящую из двух строк. В первую строку последовательно записываются номера внешних узлов, а во вторую – номера внутренних узлов.

КЭМ шпангоута содержит описания следующих элементов конструкции: пояс шпангоута, стенка шпангоута, "усиление" в зоне крепления шпангоута.

Схема синтеза стержневых конечных элементов (КЭ), моделирующих пояс шпангоута и "усиления", приведена на рис. 6.

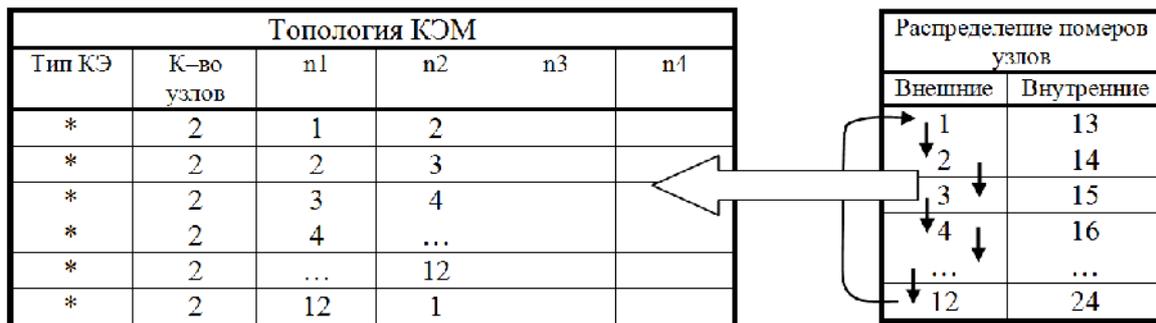


Рис. 6. Схема синтеза стержневых КЭ модели шпангоута

Для синтеза КЭМ стенки шпангоута используются номера узлов, записанные в обеих строках таблицы распределения номеров. Схема синтеза приведена на рис. 7.

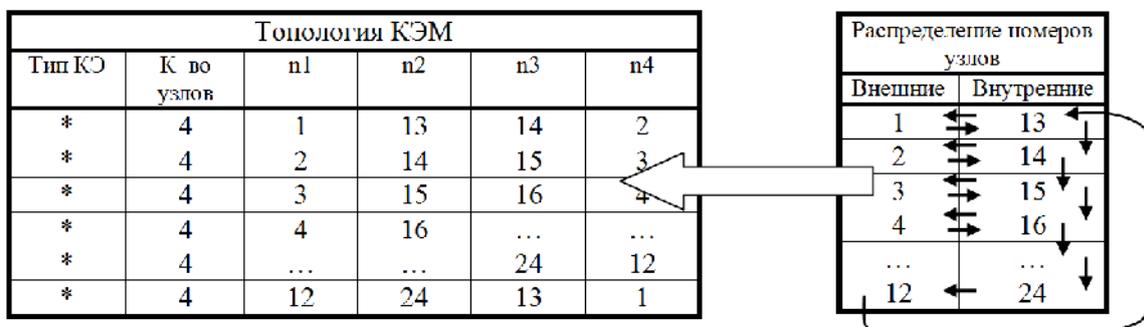


Рис. 7. Схема синтеза четырехугольных КЭ модели стенки шпангоута

Шаг 2. Ввод исходных данных для формирования КЭМ усиливающих элементов. Усиливающие элементы относятся к группе нерегулярных элементов конструкции, соединяющих регулярные элементы поперечного набора с различного рода элементами, не предназначенными для восприятия и передачи нагрузок. Исключением являются только вертикальные усиления, повышающие жесткость шпангоутов в направлении, параллельном оси OY .

Например, для синтеза структур КЭМ горизонтальных балок, поддерживающих пол грузовой кабины, необходимо указать расстояние между верхней поверхностью балки и осью фюзеляжа, а также высоту сечения балки. Для синтеза структуры КЭМ вертикального усиления достаточно указать расстояние между внутренним поясом усиления и ПСС. И в обоих случаях требуется указать ссылку на базовую КЭМ, путем выбора из списка обозначений шпангоутов (рис. 3). Таким образом, ввод исходных данных для синтеза КЭМ усиливающих элементов может осуществляться только с помощью индивидуального пользовательского интерфейса, поддерживаемого объектами соответствующих классов. Перечень шпангоутов, а также ссылки на объекты, содержащие соответствующие КЭМ, должны передаваться из объекта, вышестоящего уровня декомпозиции, в котором формируется общая модель отсека фюзеляжа.

Шаг 3. Синтез КЭМ усиливающих элементов. в отличие от КЭМ элементов продольного набора отсека кессона, КЭМ усиливающих элементов содержат две группы узлов. Первая группа узлов выбирается из массива узлов, который передается из базовой КЭМ. Вторая группа формируется с помощью алгоритма синтеза КЭМ выбранного класса усиливающего элемента, на основании значений координат узлов базовой КЭМ и введенных исходных данных. Следовательно, синтез КЭМ усиливающих элементов начинается с формирования локальных КЭМ, на основе которых формируются временные копии КЭМ, передаваемые в общую КЭМ отсека. Поскольку часть узлов локальной КЭМ усиливающего элемента входят в состав уже существующей базовой КЭМ, массив координат узлов временной копии КЭМ, передаваемой для синтеза КЭМ отсека, содержит только часть узлов его локальной КЭМ. Это усложняет алгоритм преобразования данных при копировании КЭ из локальной КЭМ во временную копию.

Реализация метода

Особенностью предложенного метода автоматизированного синтеза КЭМ силового шпангоута фюзеляжа является необходимость прямого обмена данными между базовой КЭМ и КЭМ усиливающих элементов, без участия пользователей САЕ-системы. Такой обмен данными возможен только при активном статусе КЭМ, что возможно только в объектных системах управления данными, в которых модели представлены в виде объектов. Другим важным преимуществом объектных систем является

возможность оперировать большим количеством специализированных алгоритмов, что хорошо согласуется с предложенным принципом декомпозиции, являющимся основой метода автоматизированного синтеза КЭМ усиливающих элементов.

Для реализации описываемого метода синтеза КЭМ, в качестве базовой ИТ, была использована объектная система управления данными "SPACE" [12]. Для нее были разработаны классы объектов, которые позволили за 1 рабочий час синтезировать структуру КЭМ отсека фюзеляжа самолета транспортной категории объемом 1333 узла и 3827 КЭ (рис. 8.).

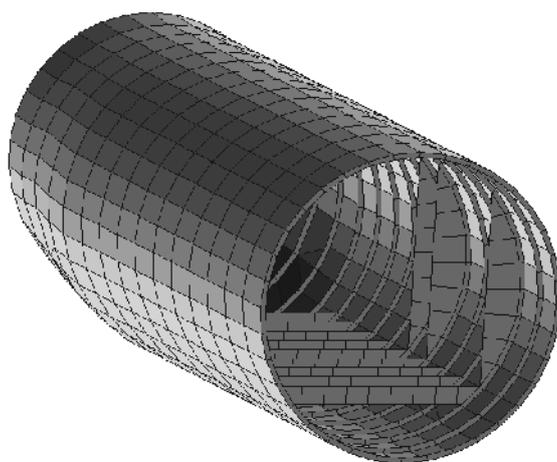


Рис. 8. Структура КЭМ отсека фюзеляжа с силовыми шпангоутами

Выводы

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что разработанный метод позволяет повысить качество проектирования фюзеляжа самолета транспортной категории, за счет увеличения количества исследуемых вариантов конструкции и уменьшить вероятность возникновения ошибок.

Список использованной литературы

1. *Василевский Е. Т.* Метод интегрированного проектирования, конструирования и моделирования высокоресурсного фитингового стыка крыла с центропланом самолета транспортной категории [Текст] / Е. Т. Василевский, А. Г. Гребеников, А. Ю. Ефремов, Н. В. Ефремова // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2010. – Вып. 46. –С.277–293.

2. *Гребеников А. Г.* Метод создания трехмерной параметрической модели центроплана самолета транспортной категории с помощью компьютерной интегрированной системы Siemens NX [Текст] / А. Г. Гребеников, А. К. Мялица, Н. А. Лысых, А. М. Гуменный, А. В. Каламбет // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2012. – Вып. 53. –С. 36–43.
3. *Одинокоев Ю. Г.* Расчет самолета на прочность.[Текст]/ Ю. Г. Одинокоев//–М.: Машиностроение, 1973. –392 с.
4. *Егер С. М.* Проектирование самолетов,[Текст]/ С. М. Егер//–М, Машиностроение, 1983, – 616 с.
5. *Зинченко В. П.* Анализ актуальных проблем информационной технологии декомпозиции и синтеза конечно–элементных моделей. [Текст] / В. П. Зинченко, В. В. Борисов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии.– Харьков: Гос. Аэроком. Ун-т “ХАИ”, 2009. – Вып. № 44. –С. 79–91.
6. MSC.Nastran 2012. Linear Static Analysis. User’s Guide. 2012. –772 с.
7. www.ans.com.ru. Руководство по основным методам проведения анализа в программе ANSYS. 2006. –399 с.
8. *Зинченко В. П.* Анализ актуальных проблем информационной технологии передачи данных при моделировании нагрузок, действующих на конструкцию сложного технического объекта. [Текст]/ В. П. Зинченко, В. В. Борисов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: Гос. Аэроком. Ун-т “ХАИ”, 2006. – Вып. № 5. –С. 85 – 107.
9. *Борисов В. В.* Проблемы обеспечения надежности функционирования программного обеспечения PDM–систем. [Текст]/В. В. Борисов // Технології створення перспективних комп’ютерних засобів та систем з використанням новітньої елементної бази. –К.: Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, 2000. –С. 67 – 72.
10. *Зинченко В. П.* Методы и алгоритмы автоматизированного проектирования сложных технических объектов [Текст]/ В. П. Зинченко, В. В. Борисов // УСиМ, 2011. –Вып. № 1. –С. 46–56.
11. *Зинченко В. П.* Синтез структур і властивостей скінченноелементних моделей планеру літака [Текст]/ В. П. Зинченко, В. В. Борисов // "Наукові вісті" НТУУ "КПІ". –2011. №1(75). –с. 62–68.
12. *Борисов В.В.* Система автоматизированного управления проектными данными [Текст]/ В. В. Борисов, В. П. Зинченко, И. П. Муха // Адаптивные системы автоматизированного управления. –2011. №19(39). –С.23–34.

