

Анализ актуальных проблем информационной технологии декомпозиции и синтеза конечно–элементных моделей

Национальный технический университет Украины «КПИ»

Рассмотрены проблемы синтеза структур и свойств конечно–элементных моделей конструкций сложных технических объектов. Показано, что процесс синтеза структур конечно–элементных моделей связан с обменом данными между моделями и корректировкой внутренних данных моделей. На основе результатов анализа современных информационных технологий сделан вывод о том что задача синтеза структур и свойств конечно–элементных моделей не может быть решена средствами PDM–систем.

Ключевые слова: конечно–элементные модели, PDM–системы, сложный технический объект.

Введение. Проблема повышения качества проектирования является комплексной задачей, включающей в себя целый ряд аспектов, один из которых заключается в необходимости повышения точности и оперативности прочностных расчетов конструкций, в первую очередь – конструкций сложных технических объектов (ТО) [1].

Основа технологии моделирования конструкций и процессов в современных прочностных расчетных комплексах (NASTRAN, ANSYS и т.п.) – метод конечного элемента (МКЭ). Поэтому все они включают в себя развитые средства формирования структур конечно–элементных моделей (КЭ–моделей), задания параметров конечных элементов (КЭ) и условий нагружения, а также ввода других необходимых параметров, например распределение КЭ по "слоям".

Для прочностного моделирования конструкций в настоящее время широко применяют метод формирования структур КЭ–моделей, основанный на автоматическом разбиении исследуемого объекта или области на КЭ. При этом используют как объемные, так и плоские КЭ. Количество и расположение узлов задаются автоматически, с учетом фактической формы моделируемых деталей, задаваемой с помощью предварительно построенных геометрических моделей конструкций.

В ряде случаев используют интерактивный метод формирования КЭ–модели, при котором количество и расположение узлов, а также типы КЭ и их топология определяются пользователем. Интерактивный метод не требует построения геометрической модели конструкции.

В связи с повышением требований к качеству расчетного проектирования и связанного с ним качества моделирования существенно возрастает объем и сложность КЭ–моделей конструкций ТО. Для обеспечения качественного моделирования упругих свойств конструкции в структуре КЭ–модели должны быть представлены все элементы силового набора, участвующие в восприятии и передаче нагрузок. В результате существенно возрастают объем и сложность структур КЭ–моделей, а трудоемкость их формирования становится сопоставимой с трудоемкостью проектирования соответствующих ТО.

Существенным недостатком методов формирования прочностных КЭ–моделей является то, что вне зависимости от сложности и объема моделируемой конструкции КЭ–модель формируется как единое целое. В результате становится невозможным применение метода последовательной детализации (МПД) [2], по-

звляющего оптимизировать процесс проектирования конструкций сложных ТО путем разделения его на относительно независимые подпроцессы. Необходимость реализации МПД при проектировании сложных ТО в CAD-системах привел к появлению PDM-систем, с помощью которых реализуются такие важные функции управления процессом проектирования, как декомпозиция и синтез, описанные в работе [1].

Анализ, проведенный в статье, показывает, что во всех современных PDM-системах используют традиционные информационные технологии (ИТ) управления базами данных (БД), при которых декомпозиция и синтез данных обеспечиваются универсальными алгоритмами, жестко зашитыми в программный код систем управления базами данных (СУБД) [3]. Подобный подход не дает возможности применить МПД для формирования сложных КЭ-моделей, поскольку в отличие от 3D-моделей синтез свойств КЭ-моделей требует использования специализированных алгоритмов, зависящих от функциональных особенностей и структуры конкретных моделей. В результате количество алгоритмов управления данными становится сопоставимым с количеством объектов в БД, т. е. для обеспечения синтеза свойств КЭ-моделей информационная система должна поддерживать не только традиционные функции поиска данных, но и функции поиска нужных алгоритмов и привязки их к данным. Это противоречит концепции современных PDM-систем, что не позволяет использовать их для повышения эффективности процесса формирования КЭ-моделей конструкций сложных ТО.

Анализ проблемы. Основная концепция МКЭ состоит в том, что любую непрерывную величину, например перемещение под нагрузкой, можно аппроксимировать дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей. Важным аспектом МКЭ является возможность выделить из набора элементов типичный элемент при определении функции элемента. Это позволяет определять функцию элемента независимо от относительного положения элемента в общей связанной модели и от других функций элементов. Задание функции элемента через произвольное множество узловых значений и координат позволяет использовать функции элемента для аппроксимации геометрии области [4].

В настоящее время область применения МКЭ очень обширна и охватывает все физические задачи, которые могут быть описаны дифференциальными уравнениями. Наиболее важным преимуществом МКЭ является возможность аппроксимировать области любой конфигурации и обеспечивать при этом приемлемую точность, варьируя степень дискретности модели, возможность задавать различные свойства материалов у различных элементов, а также использовать один и тот же алгоритм для решения достаточно широкого класса задач.

Формирование КЭ-модели сложного ТО представляет собой нетривиальную задачу, поскольку для построения таких моделей требуется обработать и согласовать между собой большие массивы данных. В частности, для решения таких задач требуется проанализировать не только большое количество данных, но и большое количество связей между ними.

В настоящее время наиболее широко применяют метод формирования структур КЭ-моделей, основанный на автоматической разбивке исследуемого объекта или области на КЭ. При этом используют как объемные, так и плоские КЭ. Количество и расположение узлов задаются автоматически, с учетом фактической формы моделируемых деталей, задаваемой с помощью предварительно построенных геометрических моделей.

При формировании структур моделей на основе плоских КЭ применяют упрощенные геометрические модели конструкций, содержащие только основные силовые элементы. Технология, основанная на автоматической разбивке силовых элементов конструкции на плоские КЭ, позволяет моделировать конструкции сложных ТО, имеющие большой объем и сложность (рис. 1). Однако такая технология затрудняет моделирование конструктивных элементов малого размера, что в ряде случаев снижает точность расчета.

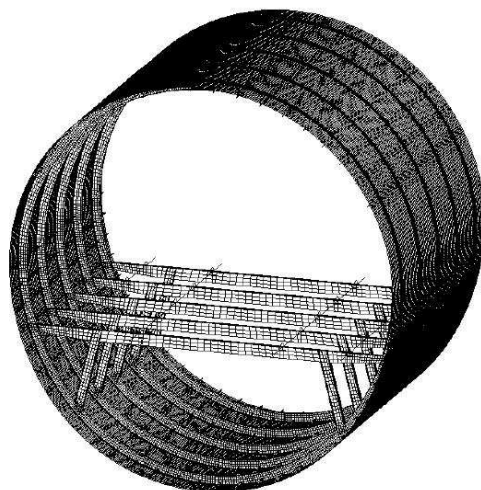


Рис. 1. КЭ-модель центрального отсека фюзеляжа, сформированная на основе плоских КЭ

При формировании структур моделей на основе объемных КЭ количество и расположение узлов задаются автоматически, с учетом фактической формы моделируемых деталей (рис. 2), задаваемой с помощью предварительно построенных 3D-моделей.

Такой подход предполагает достаточную степень проработанности конструкции, при которой уже определен перечень деталей и их форма. Это не дает возможности моделировать конструкцию на ранних этапах проектирования, когда не определен перечень деталей и их конфигурация. Кроме того, КЭ-модели, сформированные из объемных КЭ, имеют высокую степень дискретности (даже при наиболее грубой разбивке). Особенно остро данная проблема возникает при моделировании авиационных конструкций, характерной особенностью которых является большое количество деталей, соединенных с помощью болтов и заклепок. В результате из-за недопустимо больших размеров матриц жесткости становятся невозможными расчеты НДС крупных конструкций.

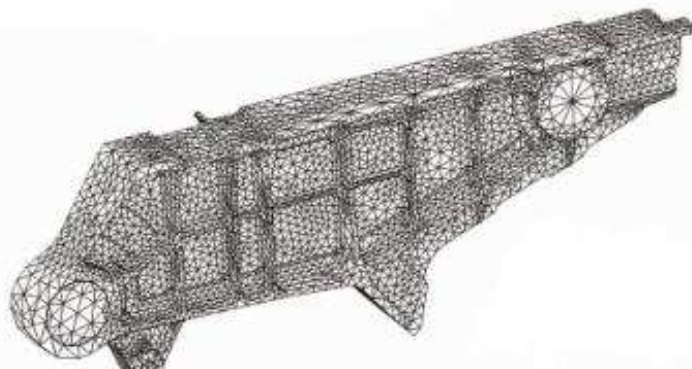


Рис. 2. КЭ-модель балки, сформированная на основе объемных КЭ

Для анализа прочности конструкций сложных ТО часто используют КЭ-модели, формируемые из стержневых и плоских КЭ (рис. 3), чье количество и расположение определяются пользователем. Пространственная конфигурация

(форма) отдельных деталей в таком случае не моделируется. Поэтому данные КЭ-модели позволяют легко варьировать степень абстракции, благодаря чему появляется возможность моделировать конструкции сложных ТО на всех этапах проектирования, начиная с самых ранних, как только определяются общие геометрические параметры и принципиальная силовая схема. Наличие в структуре

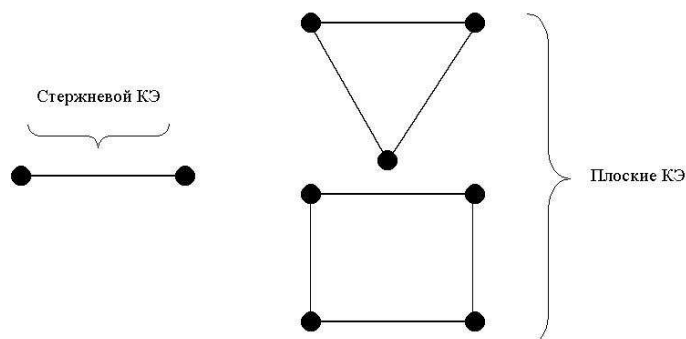


Рис. 3. Стержневые и плоские КЭ, используемые для построения ОКЭМ

модели стержневых элементов существенно облегчает моделирование силовых элементов конструкции, имеющих малые размеры. Малая дискретность таких моделей позволяет моделировать конструкции практически любого размера и сложности.

Важным преимуществом КЭ-моделей, состоящих только из стержневых и плоских элементов, является удобство подбора прочностных параметров

элементов конструкций сложных ТО в целях оптимизации, поскольку корректировка жесткостных параметров двухузловых и плоских конечных элементов не связана с изменением геометрических параметров модели (координат узлов и их количества). Поэтому в дальнейшем будем называть такие КЭ-модели оптимизационными (ОКЭМ). ОКЭМ являются удобным инструментом для моделирования авиационных конструкций большого размера.

При существующих информационных технологиях (ИТ) формирование структуры ОКЭМ осуществляется в интерактивном режиме, основанном на ручном выборе типов конечных элементов и привязке их к заранее сформированному массиву узлов [5]. Помимо функций ручного ввода, в интерактивном режиме может обеспечиваться полуавтоматическое формирование "регулярных зон", состоящих из повторяющихся структурных групп элементов. Набор функций интерактивных редакторов КЭ-моделей может быть существенно расширен путем программирования с помощью специальных командных языков, которые встроены в расчетные комплексы. Это позволяет расширять не только функции системы меню, но и функции задания исходных данных, в том числе структур и параметров расчетных моделей. Программы, написанные на командных языках, помещаются в специальные файлы и не входят в структуру БД моделей.

Существенным недостатком современных ИТ создания прочностных КЭ-моделей является то, что вне зависимости от сложности и объема моделируемой конструкции, КЭ-модель формируется как единое целое.

Для обеспечения качественного моделирования упругих свойств конструкции в структуре полноценной КЭ-модели должны быть представлены все элементы силового набора, участвующие в восприятии и передаче нагрузок (рис. 4). В результате существенно усложняется процедура задания жесткостных параметров моделей, поскольку для обеспечения приемлемой точности моделирования конструкции сложного ТО требуется подробно описать в интерактивном режиме параметры жесткости и коды материалов для большого количества элементов, что связано с большим объемом ручных операций. Представление КЭ-модели в форме единого целого не дает возможности применять МПД, существенно повышающий производительность интерактивных технологий ввода данных. МПД широко

используют во всех современных PDM-системах, которые существенно повышают производительность проектирования конструкций сложных ТО путем автоматизированного формирования 3D-моделей сложных конструкций на основе 3D-моделей отдельных деталей, формируемых в интерактивном режиме.

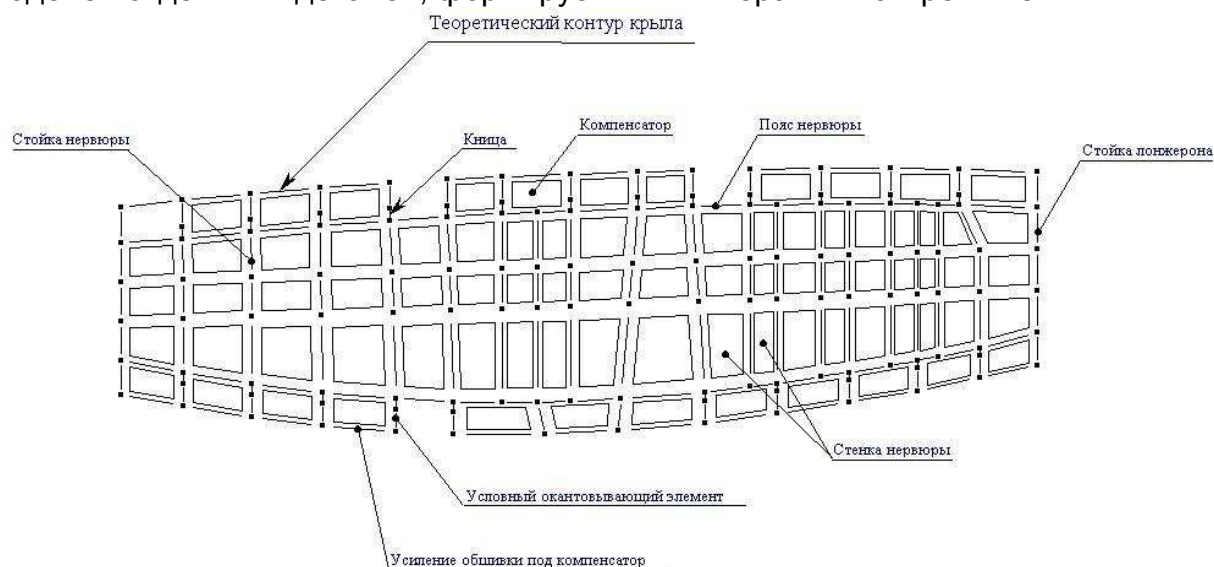


Рис. 4. Типовая КЭ-модель сборной нервюры крыла транспортного самолета (элементы искусственно раздвинуты)

В результате время, необходимое для создания и обслуживания КЭ-моделей конструкций сложных ТО становится сопоставимым с общим временем проектирования. Например, при существующих ИТ для создания КЭ-модели конструкции кессона крыла транспортного самолета требуется более трех лет. В результате МКЭ-расчет "не успевает" к началу рабочего проектирования, что существенно усложняет задачу оптимизации прочностных параметров конструкции. По этой же причине практически невозможно оперативно отслеживать изменения, которые неизбежно вносятся в конструкцию сложного ТО в процессе проектирования.

Анализ нерешенных вопросов. Интерактивная технология описания свойств КЭ хоть и способствует формированию КЭ-моделей, качественно описывающих упругие свойства конструкций сложных ТО, но не обеспечивает приемлемой оперативности прочностных расчетов. Подобные проблемы возникают в процессе моделирования конструкций в CAD-системах. Для их решения используют МПД, широко применяемый в PDM-системах и основанный на декомпозиции функций моделирования и синтезе свойств моделей деталей в моделях сборок. Однако, в случае конечно-элементного моделирования использование МПД имеет ряд особенностей, обусловленных технологией формирования и принципами взаимодействия КЭ-моделей. Последовательность формирования КЭ-модели и описания ее свойств зависит от выбранного метода формирования ее структуры.

В случае автоматического разбиения объекта на КЭ моделирование конструкции начинается с формирования геометрической модели. При использовании такой технологии качество моделирования в значительной степени определяется тем, насколько подробно в геометрической модели представлены силовые элементы конструкции. Вторым важным фактором, влияющим на качество моделирования, является точность описания свойств КЭ, т.е. насколько их упругие свойства соответствуют упругим свойствам элементов конструкции, которые они моделируют. В случае использования прочностного программного комплекса NASTRAN

описание свойств КЭ проводится в интерактивном режиме, непосредственно после задания геометрической модели. На основании геометрической модели и заданных свойств КЭ автоматически формируется КЭ-модель.

При формировании ОКЭМ не используют геометрическую модель. Количество и расположение узлов определяются пользователем путем интерактивного ввода координат. Топология КЭ и прочие данные также задаются в интерактивном режиме. КЭ-модель формируется в такой последовательности:

- 1) расчет координат узлов;
- 2) выбор материалов;
- 3) выбор типов КЭ и описание их свойств;
- 4) описание топологии КЭ с учетом описанных свойств;
- 5) описание вариантов и параметров нагружения модели;
- 6) описание вариантов и параметров закрепления.

Вне зависимости от выбранного метода скорость формирования КЭ-модели существенно зависит от количества операций, выполняемых в интерактивном режиме. Для повышения производительности таких операций используют МПД.

Технология формирования КЭ-моделей, которая применяется в основных прочностных расчетных комплексах NASTRAN и ANSYS [5,6], не предусматривает использования операций декомпозиции структур КЭ-моделей и синтеза их свойств. КЭ-модель формируется как единое целое, поэтому все операции описания упругих свойств КЭ вне зависимости от их количества осуществляется одним пользователем.

Следует также учитывать, что операция синтеза КЭ-модели конструкции на основе КЭ-моделей ее элементов значительно сложнее операции синтеза 3D-модели конструкции на основе 3D-моделей деталей. Это обусловлено большей сложностью структуры данных КЭ-моделей и спецификой взаимодействия КЭ.

Постановка задачи. Задачей исследований является определение круга проблем, связанных с разработкой ИТ, позволяющей использовать МПД для повышения производительности интерактивных операций, связанных с формированием прочностных КЭ-моделей конструкций сложных ТО. В частности, исследуют проблемы, связанные с синтезом свойств КЭ-моделей.

К-во узлов

X	Y	Z
X	Y	Z
.....		
X	Y	Z

Структура данных КЭ-модели. Структура и параметры КЭ-модели описываются в виде данных различного формата, которые делятся на следующие группы: координаты узлов, топологии КЭ, условные жесткости (для стержневых и плоских КЭ), условные коды материалов, узловые нагрузки и условия закрепления.

Рассмотрим структуру данных типичной ОКЭМ.

Координаты узлов ОКЭМ описываются структурой данных, содержащей количество узлов и их координаты в формате {x,y,z} (рис.5). При этом количество узлов описывается в виде целого числа, а координаты – в виде чисел с плавающей точкой.

Топология ОКЭМ описывается структурой данных, содержащей количество КЭ в модели, а также такие параметры, как тип КЭ, количество и номер узлов. Максимальное количество узлов в элементах ОКЭМ равно четырем (рис. 6). Количество КЭ и параметры описывают в виде целых чисел.

К-во КЭ					
Тип КЭ	К-во узлов	№ узла	№ узла	№ узла	№ узла
Тип КЭ	К-во узлов	№ узла	№ узла	№ узла	№ узла
.....					
Тип КЭ	К-во узлов	№ узла	№ узла	№ узла	№ узла

Рис. 6. Топология КЭ-модели

ОКЭМ включает в себя массив условных жесткостей, которые задаются в виде данных с плавающей точкой. При этом жесткость каждого КЭ может быть описана несколькими параметрами. Примером таких элементов являются специальные стержневые КЭ, имеющие различные жесткости в направлении осей координат (рис. 7). Количество элементов массива равно количеству КЭ в модели.

X_Stiff	Y_Stiff	Z_Stiff
X_Stiff	Y_Stiff	Z_Stiff
X_Stiff	Y_Stiff	Z_Stiff
.....		
X_Stiff	Y_Stiff	Z_Stiff

Рис. 7. Жесткости КЭ

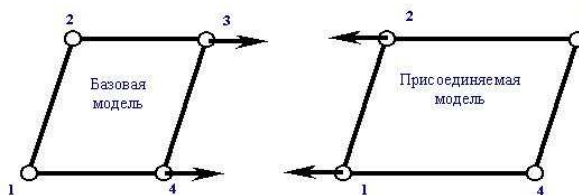
Узловые нагрузки задаются в виде массива данных с плавающей точкой в формате {Qx, Qy, Qz, Mx, My, Mz}. Количество элементов массива равно количеству узлов модели. Узловые моменты задаются сравнительно редко, поскольку в реальной конструкции все моменты являются следствием действия векторов сил.

Условия закрепления задаются в виде массива целых данных в формате {TX, TY, TZ, RX, RY, RZ} (рис. 8). Количество элементов массива равно количеству узлов модели.

TX	TY	TZ	RX	RY	RZ
TX	TY	TZ	RX	RY	RZ
TX	TY	TZ	RX	RY	RZ
.....					
TX	TY	TZ	RX	RY	RZ

Рис. 8. Массив условий закрепления узлов

Проблема синтеза структур КЭ-моделей. Для объединения нескольких КЭ-моделей в единую структуру требуется, чтобы в зоне стыка присутствовали узлы с одинаковыми координатами. Взаимодействие КЭ-моделей в рамках синтезируемой модели возможно только тогда, когда в их структурах имеются КЭ с одинаковыми номерами узлов.



Разработано два метода решения этой проблемы.

Первый метод, называемый методом непосредственного соединения, сводится к непосредственной стыковке КЭ-моделей, без участия каких-либо промежуточных элементов (рис. 9). Для этого стыковочные зоны моделей должны иметь согласованную структуру. Это означает, что объединяемые узлы одной модели должны попарно совпадать с объединяемыми узлами

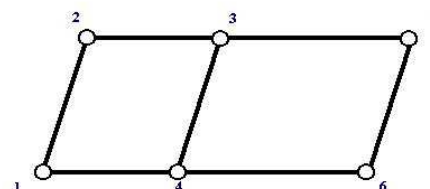


Рис. 9. Схема непосредственной стыковки КЭ-моделей

другой модели. В процессе объединения КЭ-моделей проводится копирование в общую модель координат узлов и топологий КЭ объединяемых моделей. При этом одна из моделей считается базовой и ее структура копируется в общую КЭ-модель полностью. Вторая модель считается присоединяемой. В процессе копирования ее структуры не копируются координаты объединяемых узлов, а при копировании топологии проводится изменение номеров узлов в КЭ, с учетом фактической нумерации узлов в объединенной модели. В примере, показанном на рис. 9, при объединении моделей из общей модели исключаются узлы №1 и №2 присоединяемой модели, а в топологии присоединяемой модели исходные номера узлов (1, 2, 3, 4) корректируются с учетом нумерации узлов в общей КЭ-модели (4, 3, 5, 6).

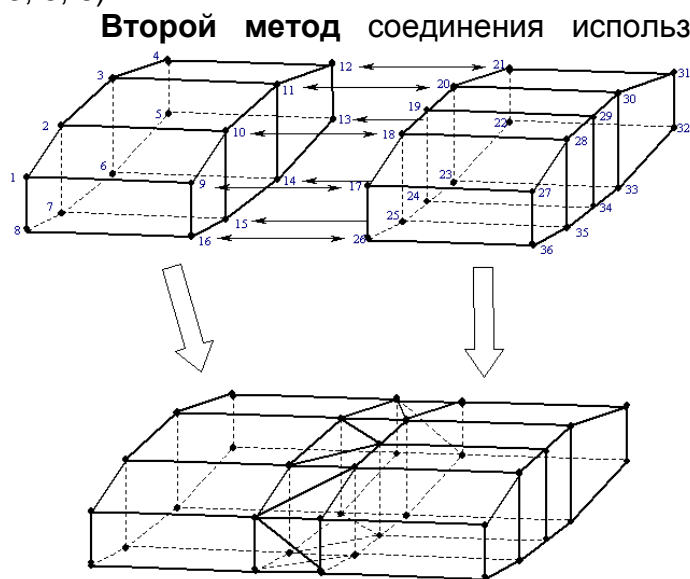


Рис. 10. Схема стыковки независимо сгенерированных КЭ-моделей

В результате проведенных исследований разработана технология соединения таких моделей путем использования специально сгенерированных стыковочных КЭ-моделей, учитывающих топологию обеих моделей (рис. 10). При моделировании конструкции кессона крыла это не приводит к нарушению структуры общей КЭ-модели, поскольку для соединения центроплана и консольных частей кессона в его конструкцию включаются специальные стыковочные зоны, имеющие повышенную прочность. Конструкция стыковочной КЭ-модели относительно проста, поэтому формирование стыковочной КЭ-моделей проводится после формирования КЭ-моделей соединяемых подборок. Алгоритмы формирования структур стыковочных КЭ-моделей строятся с учетом особенностей функционирования конкретных стыковых зон. В качестве исходных данных для формирования структур стыковочных моделей используют параметры стыковочных зон объединяемых КЭ-моделей.

При формировании КЭ-моделей стыковочных зон не ставится задача анализа их НДС. Основное требование, предъявляемое к стыковочным КЭ-моделям, сводится к обеспечению корректного распределения напряжений в прилегающих участках силовых панелей.

Анализ обоих методов показывает, что объединение КЭ-моделей всегда осуществляется по индивидуальным алгоритмам, зависящим от особенностей структур и методов восприятия и передачи нагрузок в объединяемых моделях.

Таким образом, в случае синтеза структуры КЭ-модели на основе структур частных КЭ-моделей количество алгоритмов синтеза становится сопоставимым с количеством объектов в базе данных (рис.11). Это не дает возможность использовать для синтеза структуры внешнее ПО, поскольку в таком случае кроме проблемы поиска данных возникает проблема поиска нужного алгоритма. Следует также учитывать, что формат данных, используемых в алгоритмах синтеза, также зависит от особенностей структур конкретных КЭ-моделей. Основываясь на результатах анализа, приведенного в работах [7,8], можно ожидать роста числа ошибок в работе информационной системы, если для управления синтезом структур КЭ-моделей применяют традиционные ИТ.

Проблема синтеза свойств КЭ-моделей.

Реализация процедуры синтеза упругих свойств КЭ-моделей конструкций сложных ТО на основе свойств КЭ-моделей подконструкций позволит решить проблему описания жесткостей и кодов материалов КЭ, которое вне зависимости от метода формирования структуры модели, выполняется в интерактивном режиме.

В структуре данных КЭ-модели жесткостные параметры и коды материалов непосредственно связаны с топологией модели, определяющей количество и расположение КЭ. Поэтому для реализации процедуры синтеза упругих свойств КЭ-моделей на основе частных КЭ-моделей требуется предварительно описать однозначные связи между КЭ частных моделей и соответствующими КЭ синтезируемой модели (рис. 12).

Необходимость установления однозначных связей КЭ синтезируемой модели с КЭ частных моделей позволяет сделать вывод о невозможности использования МПД для синтеза ее свойств в случае автоматической разбивки объекта на КЭ, поскольку при такой разбивке количество КЭ в модели является случайной величиной. Применение МПД возможно только при синтезе ОКЭМ, когда суммарное количество КЭ частных моделей в точности соответствует количеству КЭ синтезируемой модели.

Анализируя особенности алгоритма синтеза свойств КЭ-модели, следует учитывать, что количество частных КЭ-моделей, как правило, больше двух, что дополнительно усложняет алгоритм синтеза, поскольку он напрямую зависит от алгоритма, который был использован для синтеза структуры модели. Выше было показано, что алгоритм синтеза структуры КЭ-модели на основе структур частных КЭ-моделей всегда узко специализирован и зависит от особенностей структур и методов восприятия и передачи нагрузок в объединяемых моделях. Таким обра-

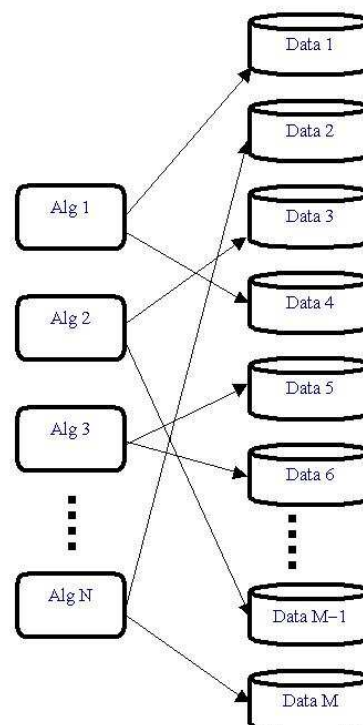


Рис. 11. Установление связей "алгоритм–данные" в случае многовариантности

зом, количество алгоритмов синтеза свойств КЭ-моделей также сопоставимо с количеством объектов в БД.

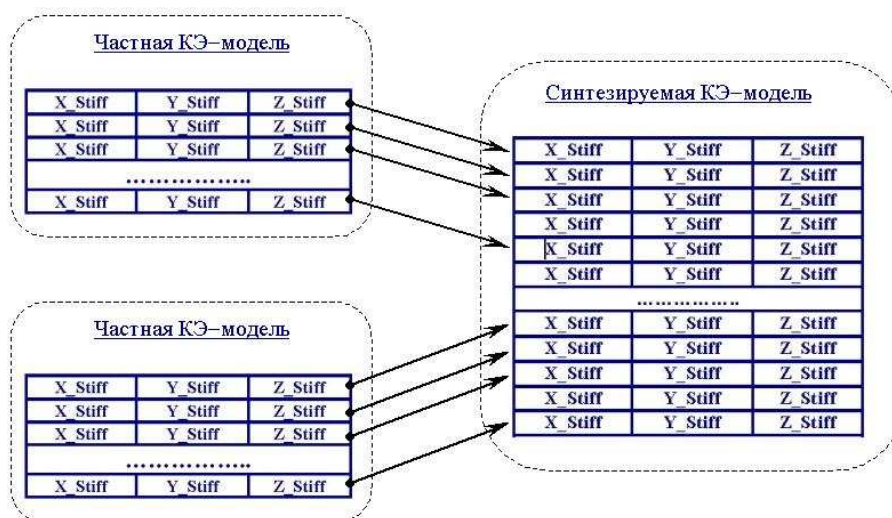


Рис. 12. Синтез свойств КЭ-моделей

Важным отличием алгоритма синтеза свойств КЭ-модели от алгоритма синтеза структуры является то, что алгоритм синтеза свойств используется многократно, по мере подбора оптимальных жесткостей силовых элементов конструкции. Таким образом, согласно [7,8], применение для синтеза свойств КЭ-модели традиционных ИТ управления БД приведет к недопустимому росту количества ошибок при передаче жесткостных параметров КЭ и кодов материалов в синтезируемую модель.

Особенности ИТ PDM-систем. PDM-системы служат для управления информацией об изделии и проектными данными на протяжении всего жизненного цикла изделия [9,10]. Они связаны в основном с атрибутивной информацией об объектах. Эти средства позволяют связывать документы со структурой изделия и контролировать процесс проектирования ТО. Они дают возможность визуально отображать структуру ТО и связанные с ними документы, а также строить различные отчеты (спецификации, ведомости покупных деталей и т. п.).

Структура ПО большинства PDM-систем включает в себя ядро и сервисные программы, например визуализаторы. Кроме того, предусматривается подключение прикладного ПО, например моделировщиков (рис. 13).

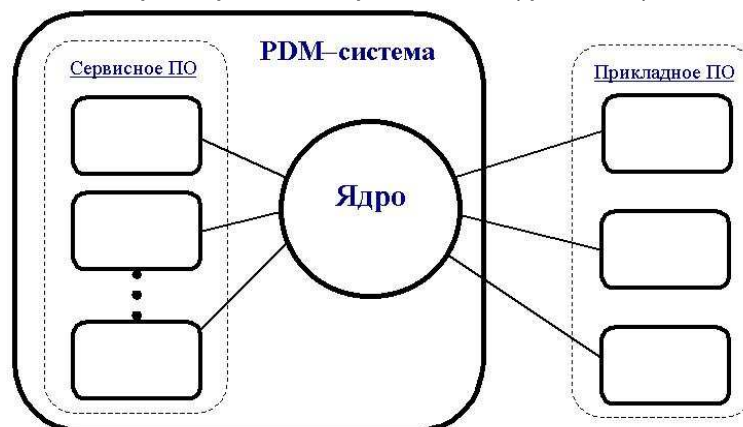


Рис. 13. Структура ПО PDM-системы

Ядро обеспечивает поддержку логической структуры данных, управление доступом к данным в условиях многопользовательской среды, управление сервисными и прикладными программами и т.д. Все ПО PDM-системы релизованы в виде стандартных программных файлов и не входят в логическую структуру данных проекта. Нарращивание функциональных возможностей PDM-системы возможно двумя способами: путем модернизации ядра или подключения дополнительных программ. Такая ИТ не обеспечивает динамического подключения алгоритмов анализа и обработки данных. Поэтому перечень функций PDM-системы ограничивается функциональными возможностями ее ядра, сервисного ПО и предварительно подключенных прикладных программ.

Для установления связей между данными и программным обеспечением используют стандартные процедуры операционных систем, что накладывает существенные ограничения на количество используемых программ.

Все современные PDM-системы поддерживают функции декомпозиции и синтеза проектных данных, чем обеспечивается необходимая производительность интерактивных технологий ввода данных, которые широко применяются при формировании 3D-моделей конструкций ТО [10–15]. Проектные данные в PDM-системах представляются в виде упорядоченных иерархических структур данных, состоящих из двух основных типов объектов – сборок и деталей (рис. 14). При этом 3D-модель формируется только на уровне деталей. Формирование 3D-моделей сборок осуществляется автоматически путем объединения всех 3D-моделей деталей, на которые ссылается сборка (синтез геометрии). Геометрия моделей сборок синтезируется методом пространственного совмещения, не требующего обмена данными между соединяемыми моделями и корректировки содержимого их внутренних структур. Такая ИТ дает возможность реализовать МПД проектных данных на основе ограниченного числа универсальных алгоритмов, содержащихся в ядре PDM-системы.

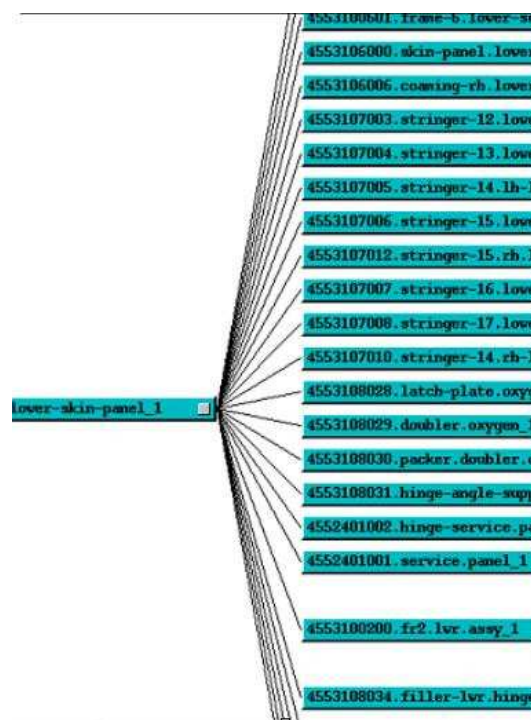


Рис. 14. Структура данных PDM-системы

Выводы

Концепция современных PDM-систем основана на использовании традиционных технологий управления БД, оптимизированных для поиска и анализа данных. В соответствии с этой концепцией поддерживаемые современными PDM-системами информационные структуры содержат только данные. Установление связей "алгоритм–данные" происходит непосредственно в процессе их обработки и анализа. ПО в таких системах является "внешним" по отношению к данным и не входит в структуру БД, а значит находится вне зоны действия процедур поиска и управления. Такая ИТ позволяет эффективно оперировать только ограниченным количеством программных модулей. При попытке реализации процедур синтеза структур и свойств КЭ-моделей потребное количество алгоритмов управления

данными становится сопоставимым с количеством объектов в БД. В таких условиях традиционные технологии управления БД не обеспечивают необходимой надежности. Для реализации функций синтеза система управления данными должна поддерживать постоянные связи между алгоритмами и структурами данных, что выходит за рамки возможностей PDM-систем.

Список литературы

1. Информационные технологии в испытаниях сложных объектов: методы и средства / В.И. Скурихин, В.Г. Квачев, Ю.Р. Валькман, Л.П. Яковенко // Инс-т кибернетики им. В.М. Глушкова. – К: Наук. думка, 1990. – 320 с.
2. Борисов В.В. Разработка прочностных моделей конструкций на основе метода последовательной детализации / В.В. Борисов, В.П. Зинченко // Труды IV Международ. научно-техн. конф. "Гиротехнологии, навигация, управление движением и конструирование авиационно-космической техники", посвященной 100-летию со дня рождения акад. С.П. Королева, НТУУ "КПИ" – Х., 2007. Т. 1, – С. 55–61.
3. James Martin, IBM Systems Research Institute. COMPUTER DATA-BASE ORGANIZATION. 1977.
4. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд // – М: Мир, 1979. –392 с.
5. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows / Д.Г. Шимкович // – М: ДМК Пресс, 2001. –448 с.
6. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / К.А. Басов // М.: КомпьютерПресс, 2002. – 224 с.
7. Борисов В.В. Проблемы обеспечения надежности функционирования PDM-систем. / В.В. Борисов // Збірник наукових праць. Технології створення перспективних комп'ютерних засобів та систем з використанням новітньої елементної бази. НАН України Інститут кібернетики ім.В.М.Глушкова, 2000. – С. 67 – 72.
8. Майерс Г. Надежность программного обеспечения. / Г. Майерс. – М: Мир, 1980. – 353 с.
9. Интегральная система разработки изделия PDS. - <http://www/urss.ru/>.
10. Windchill, ProjectLink. - <http://www/urss.ru/>.
11. Windchill, как средство организации и ведения технических архивов. - <http://www/urss.ru/>.
12. Программный комплекс APM WinMachine.
–<http://www.consistent.ru/download/marketing>.
13. Разговор о возможностях системы Unigrphics.
–<http://www.consistent.ru/download/marketing>.
14. CATIA, универсальная CAD/CAM/CAE/PDM система.
–<http://www.catia.ru/productsNEW.htm>
15. Autodesk Inventor Professional. –<http://www.consistent.ru/download/marketing>.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.Д. Гераимчук

Поступила в редакцию 26.11.09

Аналіз актуальних проблем інформаційної технології декомпозиції й синтезу скінченно–елементних моделей

Розглянуто проблеми синтезу структур і властивостей скінченно-елементних моделей. Показано, що процес синтезу структур скінченно-елементних моделей пов'язаний з обміном даними між моделями та корегуванням внутрішніх даних моделей. На основі результатів аналізу сучасних інформаційних технологій зроблено висновок про те, що задача синтезу структур і властивостей скінченно-елементних моделей не може бути вирішеною засобами PDM-систем.

Ключові слова: скінченно-елементні моделі, PDM-системи, складний технічний об'єкт.

Analysis of IT actual problems of decomposition and synthesis of finite elements models

The questions of synthesis of structures and properties of finite element models of complex technical objects structures are considered in this article. There are showed that process of synthesis of finite element models structures are connected with inter-model communication and with model internal data correction. The conclusion that the task of synthesis of finite element models structures and properties can't be solved by PDM–system tools are drawn in terms of modern information technologies analysis.

Keywords: finite elements models, PDM-systems, complex technical object