Алгоритмы анализа сборок с учетом допусков, разработанные в зависимости от геометрической классификации по топологическим признакам были реализованы в системе геометрического моделирования, расчета и анализа допусков «ГеПАРД», разрабатываемой на каф. Технологии машиностроения Иркутского государственного технического университета. На основе полученных экспериментальных данных можно с уверенностью сказать, что предлагаемая нами теория позволяет проводить полный размерный анализ сборки. Однако, необходимы дальнейшие исследования в области анализа крупных сборок.

Литература

1. Гаер М.А. Граф сборки с учётом допусков // Материалы региональной научно-практической конференции «Винеровские чтения», 2004 г. с. 62-64.
2. Гаер М.А. Моделирование трёхмерных допусков при автоматизированном проектировании сборок с помощью кватернионов // Вестник ИрГТУ. - 2004. - № 4. с. 177.
3. Гаер М.А., Яценко О.В. Современные концепции моделей и анализа сборок при автоматизированном проектировании // Материалы региональной научно-практической конференции «Винеровские чтения», 2004 г. с. 57-62.
4. Журавлёв Д.А., Грушко П.Я., Яценко О.В. О новых дифференциально-геометрических подходах к автоматизированному проектированию сборок с учётом допусков.//Вестник ИрГТУ, № 12, 2002. - с. 82-92.
5. Гаер М.А. Разработка и исследование геометрических моделей пространственных допусков сборок с использованием кватернионов. Кандидатская диссертация. Иркутск 2005.

Топологическое представление сборок и их анализ с учётом допусков

к.т.н., доц. Гаер М.А., Плонский П.Л.

Иркутский государственный технический университет

На сегодняшний день, почти во всех, современных CAD системах имеется модуль сборки. Но ни в одной из этих систем не найдено адекватное математическое представление моделирования сопряжений или других видов контактов в сборке, отражающих назначенные точностные требования и их влияние на геометрию сборки. Всё сводится к тому, что те или иные поверхности контактирующих деталей связываются некоторыми условиями, типа «совпадение», «параллельность», «перпендикулярность» и т.п., реализуемыми с помощью однородных матриц преобразования. Такое представление, фактически описывает сборку как группу отдельно взятых компонентов, связанных некоторыми (достаточно простыми) геометрическими условиями, и ни в коей мере не отражает её функциональность и функциональные связи между деталями сборки, призванные обеспечить эту функциональность при любом изменении геометрии.

Попытки описания функциональных связей, отталкиваясь от существующих классификаций функционально-геометрических характеристик деталей, показали свою недостаточность в задачах создания точного математического аппарата моделирования и анализа сборок с учётом допусков в CAD среде.

Предлагаемое в данной работе топологическое представление сборки, с использованием графа сборки, является универсальным, позволяя моделировать и анализировать сборки и контактные состояния с любой материей. Метод различает допуски детали и допуски сборки, что адекватно отражает реальную процедуру проектирования.

Подход к сборке с учётом допусков требует в первую очередь несколько нового решения вопроса о графах сборки. Согласно рекомендациям, описанным в статье [1], граф сборки должен быть связным и не иметь циклов. Другими словами это должно быть дерево. Кроме того, «граф необходимо разбивать в объединение подграфов следующего уровня». В настоящей статье предлагается решение поставленной задачи.

Определение. Деталь, полученную в результате сборки более мелких деталей, будем называть С-деталью.

Определение. Отдельно взятую деталь, которую нельзя разбить на более мелкие детали, будем называть С-деталью порядка нуль. Тогда С-деталью порядка k будем называть С-деталь, полученную в результате сборки С-деталей порядка не больше чем $(k-1)$.

Определение. Сборкой уровня k будем называть сборку, в результате которой получена С-деталь порядка k.

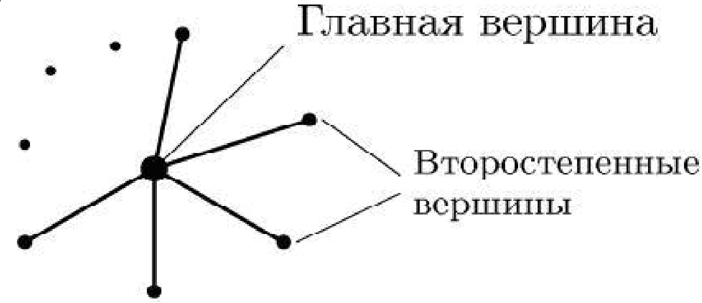


Рис. 1.

Определение. Графом уровня k будем называть граф, который описывает сборку уровня k. При этом он должен иметь вид «ромашки». Другими словами у него должна быть вершина такая, что все остальные вершины связаны ребрами с ней и только с ней. Такую вершину будем называть главной вершиной, остальные – второстепенными (рис. 1).

Определение. С-деталь, соответствующая главной вершине графа сборки уровня k, будем называть главной С-деталью. С-деталь, соответствующая второстепенной вершине графа сборки уровня k, будем называть второстепенной С-деталью.

Определение. Вершину графа будем называть вершиной порядка k, если она представляет собой С-деталь порядка k.

Предложение 1. Любой граф сборки, имеющий вид дерева, можно представить в виде «ромашки» некоторого уровня k, вершины которого также являются «ромашками», но уровня меньше k.

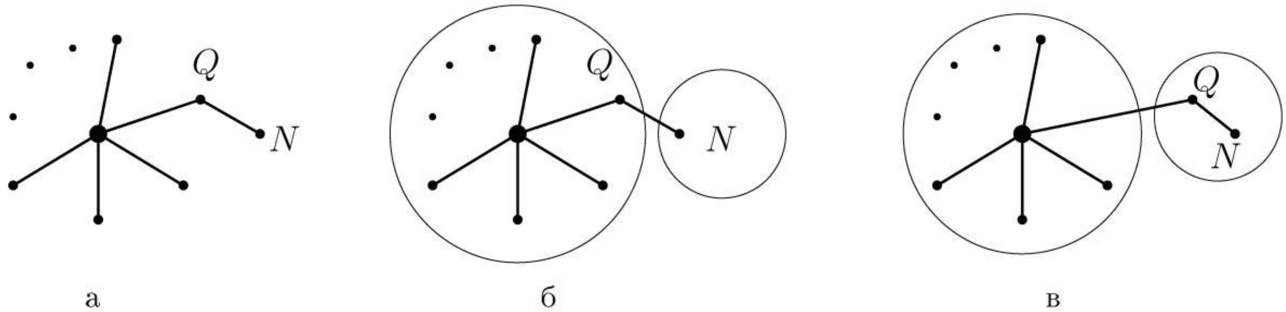


Рис. 2.

Доказательство:

Пусть имеется «ромашка» уровня $(k-1)$. Добавим к ней вершину N, не связанную с главной (рис. 2 а). Тогда вершина N должна быть связана с какой-либо второстепенной вершиной и только с одной, поскольку рассматриваемый граф является деревом. Пусть она связана ребром с вершиной Q. Но тогда полученный граф можно разбить на два подграфа двумя способами:

- первоначальная «ромашка» и вершина N (рис. 2 б);
- первоначальная «ромашка» без вершины Q и граф NQ (рис. 2 в).

И в первом, и во втором случаях каждый из полученных подграфов представляют собой сборку С-детали порядка не выше $(k-1)$. Полученные таким образом С-детали представляем вершинами графа сборки уже следующего уровня [3].

Очевидно, что, поступая аналогичным образом, можно избавиться от любого числа «лишних вершин».

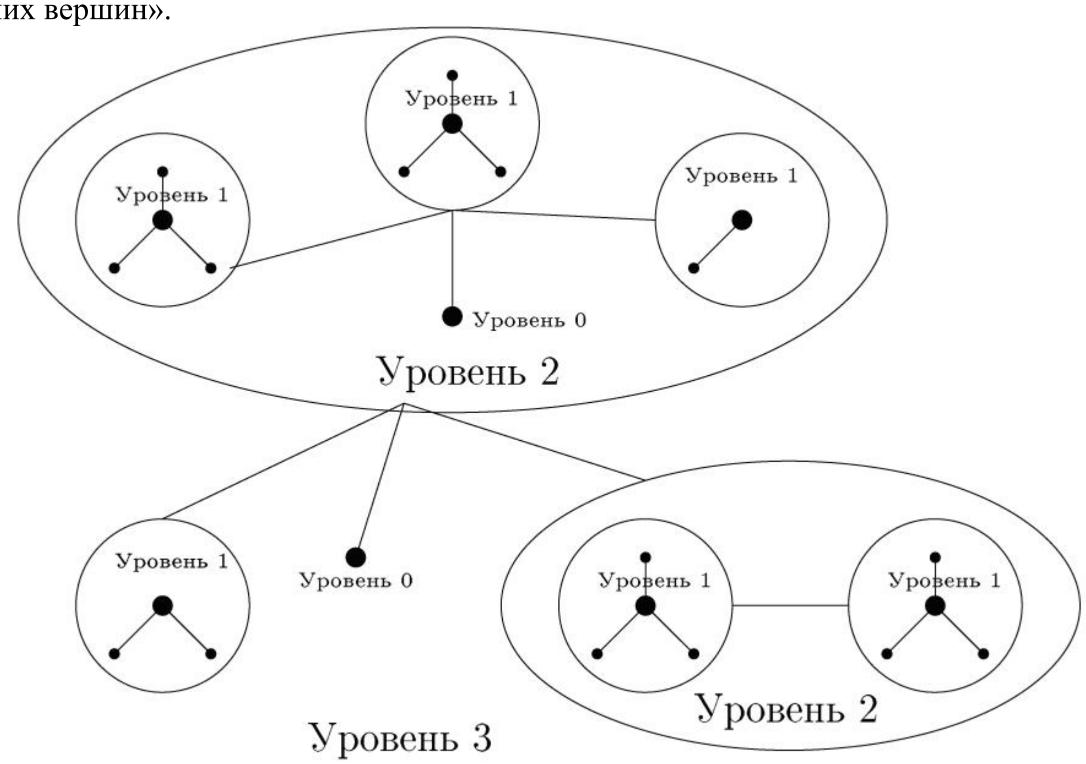


Рис. 3.

Следствие: Общий граф сборки имеет вид ромашки, вершины которого сами являются ромашками предыдущего уровня (рис. 3).

Определение. Графы с двумя вершинами и одним ребром будем называть «гантелями» (рис. 4). Аналогично «ромашкам», вершины «гантелей» сами могут быть «гантелями» предыдущего уровня.

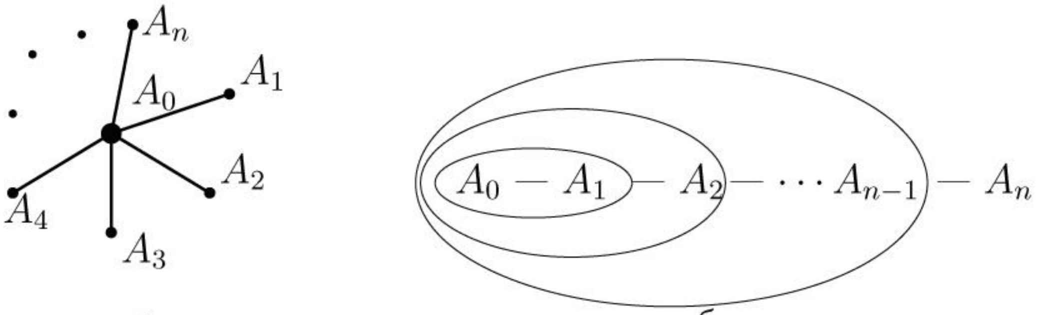
Рис. 4.

Предложение 2. «Ромашку» уровня k, состоящую из $(n+1)$ вершины можно представить в виде «гантели», одна из вершин которой сама является гантелей» предыдущего уровня. При этом количество таких уровней равно n.

Доказательство:

Пусть данная ромашка состоит из вершин $A_i, i=\overline{0,n}$, где A_0 – главная вершина (рис. 5б). Тогда «гантелей» первого уровня будет граф A_0A_1. Полученную в результате сборки A_0A_1. С-деталь обозначим D_1.

Далее, «гантелей» второго уровня будет граф D_1A_2 и т.д. Очевидно, что количество таких уровней будет равно n (рис. 5).



а б

Рис. 5.

Пример. Общий граф сборки конструкции, состоящей из двух плит A_1 и A_2, в каждой из которых есть два отверстия, и двух штырей B_1 и B_2 (рис. 6), соединяющих эти плиты будет выглядеть следующим образом (рис. 7 а):

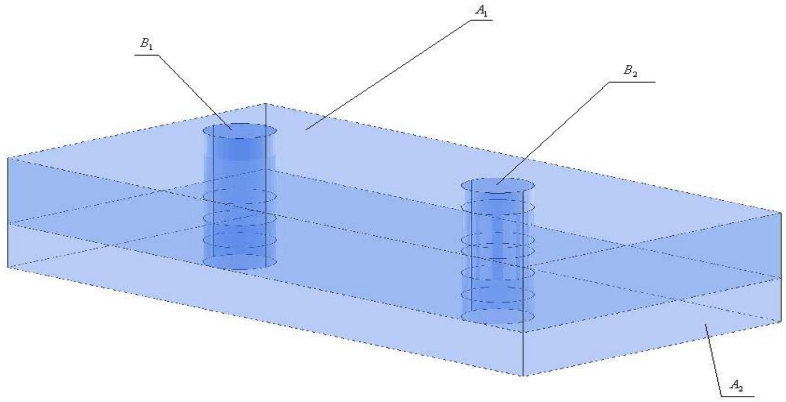
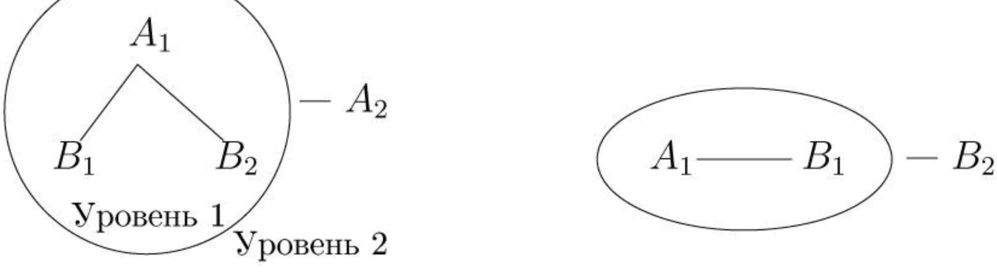


Рис. 6.

Окончательно собранная конструкция будет С-деталью второго порядка. «Ромашка» первого уровня $A_1B_1B_2$ представляется в виде «гантелей» как на (рис. 7 б). «Ромашка» второго уровня сама уже является «гантелей» [2].



а б

Рис.7

Предлагаемая теория графов предназначена для моделирования сборок с учётом пространственных допусков. Однако одной теории графов недостаточно для того, что бы полностью решить поставленные нами задачи. А именно не только представить топологию и структуру сборки, но и производить их анализ с учётом допусков. Сложность состоит в том, что все допуски, которые присутствуют в сборке – взаимосвязаны. Другими словами, изменяя один допуск нужно обязательно учитывать то, что это повлечёт за собой изменение других наложенных ограничений. Всё это представляет очень сложную структуру. Для решения этого вопроса необходима разработка алгоритмов экспертной оценки.

Задачи этих алгоритмов будут следующими[2]:

- Создание замкнутой топологической схемы.
- Нахождение существующих связей между допусками.
- Определение несвязанных контуров.
- Формирование списка допусков-связок между сопрягаемыми поверхностями.
- Установка двунаправленных связей между разрозненными допусками.
- Определение весовых коэффициентов допусков.

Поиск пути максимальной эффективности (нахождение списка производственных допусков имеющих наибольшее влияние на заданный сборочный допуск анализируемого узла, не удовлетворяющий условиям собираемости).

При проведении размерного анализа собираемости даже для небольшой сборки, учитывая, что мы имеем дело с пространственными допусками и для каждого из них существует некоторое количество точек конфигурационного пространства, получаем, что во время имитации этих допусков вероятности их вариаций перемножаются и получаются огромные числа. Поэтому важно определить только те допуска, которые приносят максимальный эффект при их ужесточении/смягчении. Для этого необходимо иметь связанную структуру (топологическую схему) содержащую все допуски, каким либо образом влияющие на собираемость на этом узле.

Поскольку для каждого шага сборки, как правило, существует замыкающий допуск, отвечающий за успешность сборки, следовательно, задача сводится к определению путей от данного допуска, до ближайших, при равных весовых коэффициентах технологических допусков, либо до тех допусков, которые имеют большую весовую значимость.

Нахождение существующих связей между допусками:

Алгоритм формирования между узлами данной системы основан на прямом переборе всех возможных пар допусков сборки, и проверки возможности связи.

Для начала следует определиться с условием, определяющим зависимость одного допуска от другого. Так, если сравниваются два допуска - первый зависит от второго, если его базовая поверхность является присоединяемой для второго или же их присоединяемые поверхности равны.

Рис. 8.

То есть, где П1/Б1 – присоединяемая/базовая поверхность родительского допуска и П2/Б2 – соответственно поверхности допуска-потомка. При условии П1 = Б2 и П1 = П2.

Определение несвязанных контуров:

Смысл заключается в переборе всех имеющихся на данном этапе сборки допусков на предмет обнаружения их «родственных связей» и проверки: не осталось ли допусков, не вошедших в данную цепочку.

Формирование списка допусков-связок между сопрягаемыми поверхностями:

При установке допусков на сборку может получиться так, что имеющиеся заданные отклонения после проведения анализа связности, не обеспечат построения единого цельного графа, необходимого для экспертного анализа. Поэтому требуется ввод дополнительных допусков-связок, способных обеспечить требуемую связность графа. Любая сборка подразумевает, что у собираемых узлов, имеются некоторые совмещаемые поверхности. Необходимо сформировать список допусков между этими поверхностями, для того, чтобы использовать их в качестве «соединителей». Причем, получаемые допуска-связки должны обеспечить двустороннее взаимодействие. То есть между каждой парой сопрягаемых поверхностей следует образовать пару допусков (рис. 9).

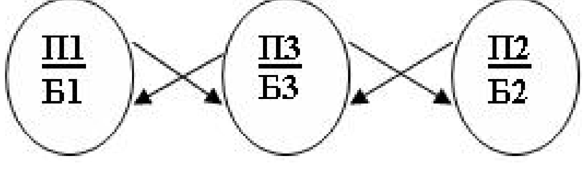


Рис. 9.

Правило установки допуска-связки между двумя не соединенными допусками

Стрелки обозначают равенство одной поверхности другой и соответственно указывают на допуск-потомок.

При условии, что П1 не равен Б2 и П2 не равен Б1 – между двумя допусками не устанавливается связей. Чтобы получить такую связку требуется такой промежуточный допуск (П3/Б3), который бы удовлетворил условию П1 = Б3 и П3 = Б2 или П2 = Б3 и П3 = Б1.

Таким образом, видно, что между любыми двумя сопряженными поверхностями можно вставить связующий их допуск.

Установка двунаправленных связей между разрозненными контурами допусков:

После того, как мы получили массив несвязных контуров и список допусков-связок, появилась возможность объединить в единой топологической схеме, для проведения дальнейшего анализа. Если по каким-то причинам, при имеющихся в нашем расположении допусках этого сделать не удается, можно смело говорить о том, что сборка задана не полностью, и требовать ввода недостающих допусков.

Для получения предельно адекватного решения экспертной системы, нужно обеспечить максимальное число топологических связей. Однако увеличение количества дополнительных допусков влечет за собой дополнительные операции по их измерению при изготовлении деталей, что в свою очередь приводит к неоправданному возрастанию стоимости производства. С другой стороны, чем больше допусков будет, так или иначе, продублировано, тем вероятнее будет достигнута стопроцентная собираемость. Опять же упрощается топологический анализ. Зато возникает проблема со временем расчетного анализа допусков.

$$N = C_n * T \quad (1)$$

Если приблизительно посчитать время анализа по формуле (1), где C – количество точек конфигурационного пространства допуска, n – количество допусков, T – время расчета. Тогда без учета оптимизации расчетных методов, при минимальном числе C = 2, возьмем T = 1 секунду для 1 допуска и, например 20 допусков. Получится N = 104857(сек), т.е. 12 дней. Поэтому важно соблюсти компромисс между достоверностью и продуктивностью работы. Для этого мы планируем предусмотреть различные фильтры, предотвращающие чрезмерный избыток информативности в ущерб производительности.

После того как мы определились с тем, какие допуски требуется связать, проверяем наличие соответствующих допусков в списке допусков-связок, и имеются ли в системе допуска на предлагаемые типы поверхностей, при положительном результате вносим эти допуска в структуру сборки, требуя задать его тип и значение дополнительно. При отрицательном условии ищем другие пары допусков. Таким образом, мы перебираем все возможные комбинации и восстанавливаем недостающие топологические связи.

Определение весовых коэффициентов допусков:

Данный вопрос требует специально разработанного математического аппарата, учитывающего такие аспекты, как среднеквадратичное отклонение численного разброса полей допусков и некоторых технологических особенностей выдержки того или иного допуска. Поэтому пока данный вопрос затрагиваться не будет.

Поиск пути максимальной эффективности:

Имея в своем распоряжении связанную топологическую схему допусков с расставленными весовыми коэффициентами, остается определить те допуски, которые следует поменять в первую очередь, чтобы максимально оптимизировать итеративный процесс имитации допусков.

Рассмотренные выше алгоритмы, предлагаемые теорией графов, позволяют легко решить и эту задачу.

Предложенная в нашей работе теория позволяет представлять топологию и структуру сборки и проводить анализ сборки с учётом допусков. Данная теория реализована в автоматизированной системе проектирования “ГеПАРД”, разрабатываемой на кафедре “Технология машиностроения” Иркутского государственного технического университета.

Литература.

1. Журавлёв Д.А., Грушко П.Я., Яценко О.В. О новых дифференциально-геометрических подходах к автоматизированному проектированию сборок с учётом допусков. // Вестник ИрГТУ, № 12, 2002.-с. 82-92.
2. Гаер М.А. Разработка и исследование геометрических моделей пространственных допусков сборок с использованием кватернионов. Кандидатская диссертация. Иркутск 2005.
3. Гаер М.А. Граф сборки с учётом допусков.//Материалы региональной научно-практической конференции «Винеровские чтения», 2004 г. с.62-64.

Автоматизированное проектирование сборок с пространственными допусками на основе интервального анализа

к.т.н., доц. Яценко О.В.
Иркутский государственный технический университет

Роль систем автоматизированного проектирования в создании сложных высокотехнологичных изделий очевидна: геометрические модели, создаваемые в CAD системах, служат отправной точкой любых инструментов инженерного анализа и подготовки производства. Однако, несмотря на то, что современные CAD системы достигли определенной степени зрелости, им присущи функциональные недостатки, носящие принципиальный характер и не позволяющие производителям систем и их пользователям шагнуть на качественно новый уровень производительности и эффективности проектирования. Рассмотрим лишь некоторые проблемы, связанные с неполной функциональностью CAD систем.

Как известно, в работе конструктора большой процент составляют задачи внесения изменений, представляющие собой достаточно рутинную работу - например, приходиться деталировать заново уже известные узлы и детали. Кроме того, большая часть проектов являются модификацией или модернизацией существующих конструкций. Автоматизация решения таких задач позволила бы уделять больше времени критически важным узлам, поиску оригинальных и оптимальных конструктивных решений. К сожалению, CAD системы не отражают специфику указанных задач, прежде всего вследствие невозможности поддерживать естественный режим проектирования, подразумевающий нисходящую передачу точностных геометрических требований по этапам проектирования вплоть до фазы рабочего проектирования. Хотя в системах имеются различные функции, позволяющие накапливать и организовывать информацию о проектируемых сборках, отсутствие геометрического описания диапазона допустимых отклонений сборки и ее компонентов как неотъемлемой части соответствующих 3D моделей превращает работающие узлы в наборы деталей бесполезные при внесении изменений или создании нового проекта. Для решения этих задач сборка должна существовать как функциональная единица, сохраняющая идею конструкции путем отражения связей между деталями, заложенных проектировщиком с помощью точностных требований. Без этого невозможно и создание действительно эффективной рабочей среды, в которой участники процесса проектирования разного уровня иерархий и специализаций могли бы проводить различные виды анализа сборок и работали бы над общим проектом без риска потерять цель проектирования. Наличие указанных выше функций в CAD системах позволило бы