

УДК: 658.512; 67.02

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБОРОЧНЫХ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ
ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГИПЕРГРАФОВ ОГРАНИЧЕНИЙ**

Андрей Андреевич Лушкин

Аспирант 4 курса

кафедра «Технология ракетно-космического машиностроения»

Московский государственный технический университет

Научный руководитель: П.В. Круглов,

*доктор технических наук, профессор, зам.зав. кафедры по научной работе кафедры
«Технология ракетно-космического машиностроения»*

В данной работе представлен алгоритм для автоматизированного проектирования набора реализуемых сборочных последовательностей, основанный на использовании графов связей и ограничений. Рассмотрены сборки трех изделий, используемых для тестирования для разработанного алгоритма. Для этих моделей описаны взаимосвязи между деталями, а также конструктивные сборочные ограничения. Разработаны классификаторы сборочных соединения, позволяющие определить оптимальную последовательность сборки из числа реализуемых.

Актуальность задачи автоматизации проектирования технологических процессов сборки связана с рядом важных причин. Во-первых, её решение позволит оптимизировать производство и снизить затраты на проектирование и изготовление изделий. Во-вторых, система автоматизированного проектирования сборочных процессов сможет учитывать различные технологические требования, что повысит качество продукции, и снизит количество брака. В-третьих, она обеспечит гибкость и масштабируемость производства, позволяя быстро адаптироваться к изменениям в производственной среде [1, 2].

В качестве исходных данных для работы алгоритма используются граф связей и гиперграф ограничений. Граф связей представляет собой ненаправленный граф, вершинами которого являются детали, а ребрами – связи между этими деталями [3-5]. Гиперграф ограничений, в свою очередь, удобнее представлять в виде матрицы или таблицы [6, 7]. Он содержит в себе информацию о геометрической разрешимости сборки, или, иными словами, конструктивные сборочные ограничения. Каждому ограничению соответствует 1 строка таблицы, состоящая из 3-х столбцов. В первых двух столбцах таблицы указываются детали, имеющие между собой хотя бы одну связь. В последний столбец записывается деталь, которая не сможет быть установлена в сборочную единицу, если перед ней будут собраны детали из рассматриваемой пары в первых двух столбцах. Совокупность данных о связях между деталями и конструктивных ограничениях, накладываемых на эти связи, однозначно определяет множество реализуемых сборочных последовательностей. Преимуществом данного подхода является то, что он позволяет исключить ветви нереализуемых последовательностей на ранних этапах её проектирования, значительно оптимизируя работу алгоритма, и снижая количество вычислений.

Для тестирования разработанного алгоритма были рассмотрены три сборочные модели. Первая модель - прототип устройства для обслуживания раскрываемых

космических конструкций (рис.1), состоящая из 10 уникальных деталей [8]. В рамках выбранного подхода, это означает, что набор конструктивных ограничений необходимо формировать только для уникальных деталей. Для этой модели были сформированы 16 ограничений.

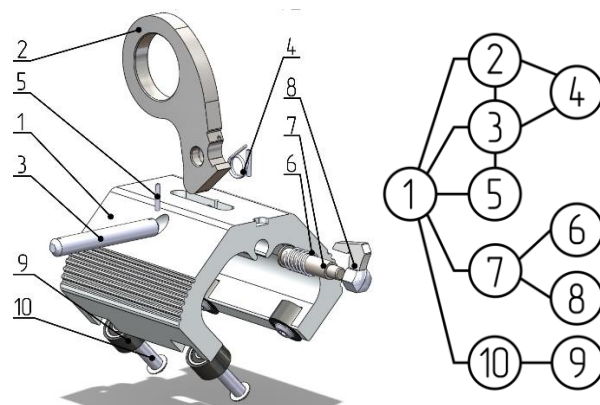


Рис.1 Первая модели и её граф связей

Вторая модель представляет собой короб для РЭА типа К2Б2 (рис.2). Он состоит из 9 уникальных деталей, для которых были сформированы 6 конструктивных ограничений. Стоит отметить, что метизы, используемые для соединения деталей этого изделия, выполняют вспомогательную функцию, и не влияют на порядок сборки деталей. Для их учета, предлагается разбивать их на группы – пакеты резьбовых соединений, и логически связывать эти группы с соответствующими деталями сборки. Таким образом, появление такой детали в сборочной последовательности, означает, что её сборка осуществляется при помощи присвоенных ей пакетов резьбовых соединений.

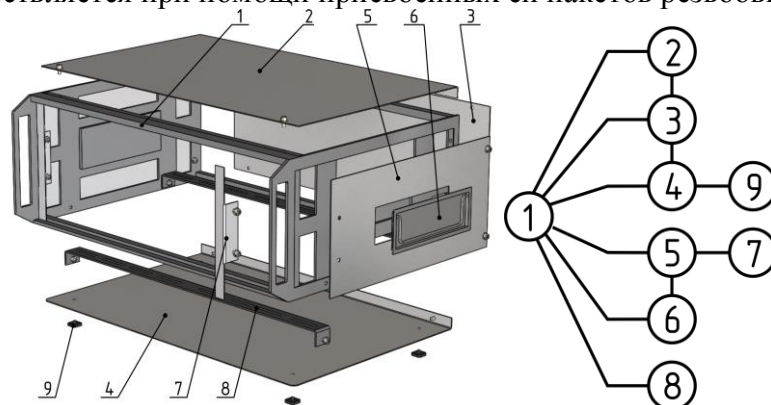


Рис.2 Вторая модель и её граф связей

Третья модель представляет собой пневмотолкатель (рис.3), состоящий из 17 деталей, для которых были сформированы 17 конструктивных ограничений.

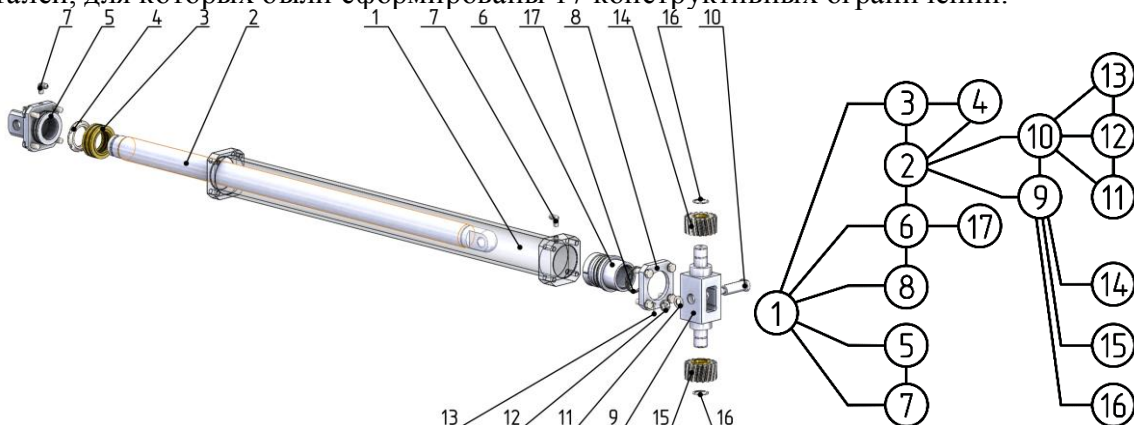


Рис.3 Третья модель и её граф связи

Особенностью рассматриваемых моделей является параллельный характер сборки, в отличие примеров других авторов [10-12]. Это означает, что одна или более деталей участвуют в сборочной последовательности более одного раза. Таким образом, сборочная последовательность этих изделий не может быть записана в виде одной непрерывной строки, отражающей порядок сборки компонентов без повторения сборочных позиций, а будет представлена в виде нескольких строк – сборочных этапов. Алгоритм, представленный в этой работе, позволяет формировать реализуемые сборочные последовательности изделий с учетом вышеописанной особенности.

Определение наиболее рациональной сборочной последовательности из числа реализуемых осуществляется с помощью учета различных технологических критериев сборки, таких как трудоёмкость и продолжительность сборочной операции, маршрут перемещения собираемых деталей по производственной площадке, себестоимость сборочной операции, и т.д. В данной работе предлагается использование комплексного критерия оценки (ККО), в котором вышеперечисленные и другие критерии будут учитываться с помощью заданных весовых коэффициентов. Для определения ККО были составлены классификаторы сборочных соединений, позволяющие определить весовой коэффициент каждого шага сборки, т.е. соединения каждой пары деталей. Сборочная последовательность с наибольшим результирующим значением ККО и будет являться приоритетной. Всего было разработано два классификатора соединений: по конструктивно-геометрическим и операционным параметрам сборки и по методам выполнения технологических сборочных операций.

Литература

1. Лушкин А.А., Круглов П.В. Методическое обеспечение для проектирования технологических процессов узловой сборки летательных аппаратов на основе применения гиперграфов ограничений // XLV Академические чтения по космонавтике (Королёвские чтения 2021): Сб. тез.: в 4 т. Т. 4. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021.
2. Лушкин А.А., Круглов П.В. Совершенствование методического обеспечения для проектирования технологических процессов узловой сборки летательных аппаратов на основе применения гиперграфов ограничений// XLVI Академические чтения по космонавтике (Королёвские чтения 2022): Сб. тез.: в 4 т. Т. 4. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022, С.146-148.
3. Божко А. Н. Выбор рациональной последовательности сборки изделия //Машиностроение и компьютерные технологии. – 2010. – №. 07. – С. 4.
4. Raju Bahubalendruni M. V. A., Biswal B. B. Liaison concatenation–A method to obtain feasible assembly sequences from 3D-CAD product //Sadhana. – 2016. – Т. 41. – С. 67-74.
5. Ахатов Р. Х. и др. Выбор последовательности сборки в условиях автоматизированного проектирования технологического процесса //Научный вестник Норильского индустриального института. – 2008. – С. 19.
6. Круглов П.В., Болотина И.А. Применение ориентированных гиперграфов ограничений при проектировании технологии изготовления высокоточных конструкций. Инженерный журнал: наука и инновации, 2016, вып. 5. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2016-05-1494>
7. Тарасов В. А., Круглов П. В. Метод генерации проектных решений сборки изделий с применением ориентированных гиперграфов //Машиностроение и компьютерные технологии. – 2012. – №. 01. – С. 5.
8. Лушкин А.А., Круглов П.В., Болотина И.А. Совершенствование методического обеспечения для проектирования технологического процесса узловой сборки летательных аппаратов на основе применения гиперграфов ограничений. Известия

- высших учебных заведений. *Машиностроение*, 2023, № 11, с. 45–52, doi: 10.18698/0536-1044-2023-11-45-52
9. Suszyński M., Żurek J., Legutko S. Modelling of assembly sequences using hypergraph and directed graph // *Technical Gazette*. – 2014. – Т. 21. – №. 6. – С. 111-120.
 10. Suszyński M., Żurek J. Computer aided assembly sequence generation. *Management and Production Engineering Review*. 2015;6(3):83-7. DOI: 10.1515/mper-2015-0030
 11. Gunji B. et al. Hybridized genetic-immune based strategy to obtain optimal feasible assembly sequences // *International Journal of Industrial Engineering Computations*. – 2017. – Т. 8. – №. 3. – С. 333-346.
 12. Лушкин А. А., Круглов П. В. Автоматизация проектирования технологических процессов узловой сборки летательных аппаратов на основе алгоритма с применением гиперграфов ограничений // *Будущее машиностроения России. 2022 сборник докладов. XV Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов. Том 2. Москва, 2023.*