

---

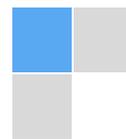
ISSN 2306-1561

**Automation and Control in Technical Systems (ACTS)**

2015, No 1, pp. 38-44.

DOI: 10.12731/2306-1561-2015-1-5

---



## Use of Graph-Theoretic Models in Technological Preparation of Assembly Plant

**Peter Franzevich Yurchik**

Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of «Automated Control Systems».

State Technical University – MADI, 125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky prospekt, 64. Tel.: +7 (499) 151-64-12. <http://www.madi.ru>

[upf.madi@mail.ru](mailto:upf.madi@mail.ru)

**Мое Ко Ко**

Republic of the Union of Myanmar, Postgraduate Student, Department of «Automated Control Systems».

State Technical University – MADI, 125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky prospekt, 64. Tel.: +7 (499) 151-64-12. <http://www.madi.ru>

[moekoko88@gmail.com](mailto:moekoko88@gmail.com)

**Abstract.** The article examines the existing ways of describing the structural and technological properties of the product in the process of building and repair. It turned out that the main body of work on the preparation process of assembling production uses graph-theoretic model of the product. It is shown that, in general, the structural integrity of many-form connections and relations on the set of components that can not be adequately described by binary structures, such as graphs, networks or trees.

**Keywords:** graph-based, assembly units (AU), graphs, mathematical logic, assembly and decomposition products on the assembly units, hypergraph.

---

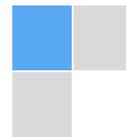
ISSN 2306-1561

**Автоматизация и управление в технических системах (АУТС)**

2015. – № 1. – С. 38-44.

DOI: 10.12731/2306-1561-2015-1-5

---



УДК 004.9:681.3

## **Применение теоретико-графовых моделей в технологической подготовке сборочного производства**

**Юрчик Петр Францевич**

Российская Федерация, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированные системы управления».

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, Тел.: +7 (499) 151-64-12, <http://www.madi.ru>

[upf.madi@mail.ru](mailto:upf.madi@mail.ru)

**Мое Ко Ко**

Республика Союза Мьянма, аспирант кафедры «Автоматизированные системы управления».

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, Тел.: +7 (499) 151-64-12, <http://www.madi.ru>

[moeekoko88@gmail.com](mailto:moeekoko88@gmail.com)

**Аннотация.** В статье анализируются существующие способы описания конструктивно-технологических свойств изделия в процессе сборки и ремонта. Работы по технологической подготовке сборочного производства успешно используют теоретико-графовую модель изделия. Показано, что, в общем случае, конструктивную целостность образуют многоместные связи и отношения на множестве деталей, которые не могут быть адекватно описаны бинарными структурами, например, графами, сетями или деревьями.

**Ключевые слова:** граф базирования, сборочная единица (СЕ), графы, математическая логика, сборки и декомпозиции изделия на сборочные единицы, гиперграф.

### **1. Введение**

В настоящее время исследования в областях, традиционно относящихся к математике, занимают все более заметное место. Проблема выбора оптимального

варианта решения относится к числу наиболее актуальных технико-экономических проблем. Развитие теории графов в основном обязано большому числу всевозможных приложений. По-видимому, из всех математических объектов графы занимают одно из первых мест в качестве формальных моделей реальных систем. Графы нашли применение практически во всех отраслях научных знаний: физике, биологии, химии, математике, истории, лингвистике, социальных науках, технике и т.п. Наибольшей популярностью теоретико-графовые модели пользуются при исследовании коммуникационных сетей систем информатики химических и генетических структур электрических цепей и других систем сетевой структуры.

Теоретико-графовую модель изделия используют при технологической подготовке сборочного производства.

## **2. Графовые и сетевые модели собираемости**

Теория графов – это удобный и выразительный язык для описания структурных свойств объектов различной физической природы в естественной и искусственной средах. Неслучайно, что в наибольшем числе работ, посвященных моделированию собираемости и расчленяемости технических систем, используется этот аппарат. Несмотря на различие в терминологии и формах представления результатов, общим в этих моделях является то, что предполагается заданная информация о возможности установки каждой детали в некоторой последовательности. То есть, для каждой детали должно быть задано два множества. В первое множество входят детали, которые в любой последовательности сборки предшествуют данной. Второе множество составляют детали, которые устанавливаются после данной. По этим множествам строится некоторый граф (технологическая сеть, дерево вариантов, граф сопряжений, пространство решений), в котором допустимым последовательностям сборки соответствуют различные пути (ориентированные пути, простые цепи) из вершины, сопоставленной исходному состоянию, до вершины, изображающей собранное изделие. Схемы декомпозиции представляются в виде вписанных деревьев или генерируются из технологической сети при помощи специальных алгоритмов. Вершины графа могут быть взвешены значениями трудоемкости или длительности установки соответствующих деталей. Тогда задача выбора оптимальной последовательности сборки формулируется как задача поиска кратчайшего пути на графе.

## **3. Граф базирования**

Граф базирования – это ориентированный граф, который задает отношение базирования в данном изделии. Он получается из графа сопряжений при помощи ориентации связей, существенных для базирования, и удаления пассивных связей. Граф ограничений является ориентированным, он задает геометрические препятствия, которые делают невозможной реализацию сборочных маршрутов, разрешенных графом базирования. Граф допустимых переходов описывает дополнительные ограничения на

сборочные последовательности, например, требования устанавливать легко повреждаемые или особо точные детали в конце технологического процесса. Генерация проектных решений (последовательностей сборки и схем разбиения) выполняется посредством эвристического переборного алгоритма, который в определенном порядке обрабатывает информацию, заключенную в сигнатуре модели.

Можно привести несколько существенных возражений против описанного подхода, назовем самое главное. Отношение базирования, в общем случае, является многоместным и не может быть задано в виде ориентированного или неориентированного графа, который представляет собой бинарную структуру.

В системах проектирования этого типа файл сборки содержит ссылки на файлы своих компонентов, описание которых хранится в отдельных файлах. Под компонентом понимается составная часть геометрического образа, входящая в финальную сборку с заданным расположением и ориентацией. Компонентом также может быть подсборка, состоящая из других компонентов более низкого уровня.

Геометрическое ядро Parasolid позволяет отслеживать пересечения и касания твердых тел, которые входят в сборки разных уровней иерархии. Эта функциональная возможность движка позволяет автоматически (без посредничества оператора) синтезировать важнейший источник проектных данных – граф сопряжений. Граф сопряжений представляет собой мультиграф, где кратность ребер соответствует числу контактирующих поверхностей двух сопряженных или соединенных компонентов. Граф сопряжений преобразуется в граф сборки посредством эвристического алгоритма, который учитывает дополнительные характеристики составляющих, заимствованных из базы конструкторских данных (вес, жесткость, точность и др.).

При моделировании собираемости и расчленяемости технических систем вершины ориентированного гиперграфа соответствуют деталям, ориентированные гиперребра представляют связи различной технической природы, наложенные на детали. Направленность гиперребер позволяет отобразить асимметричные свойства и связи, определенные на составных частях изделия. Множества входных и выходных вершин гиперребер может пересекаться и, в предельном случае, совпадать.

Для примера рассмотрим отношение базирования, заданное на множестве деталей изделия. Это отношение, в общем случае, не является симметричным и бинарным, то есть не может быть адекватно описано в терминах обычных ориентированных или неориентированных графов. Например, заклепку можно установить на крыло, но обратная процедура технически абсурдна (несимметричность). Определенность положения детали может достигаться при помощи базирования на несколько ранее установленных деталей, которые доставляют ей полный комплект баз (нарушение бинарности). Аппарат ориентированных гиперграфов позволяет описать отношение базирования и подобные ему отношения, связывающие детали изделия, без потерь и искажений.

Итак, изделие представляется в виде ориентированного гиперграфа, ребра которого описывают различные конструктивно- технологические свойства, влияющие на его собираемость и расчленяемость. Эта структура служит основным носителем

проектной информации, проектные решения (схема членения и последовательность сборки) находятся при помощи специальных алгоритмов обработки гиперграфа.

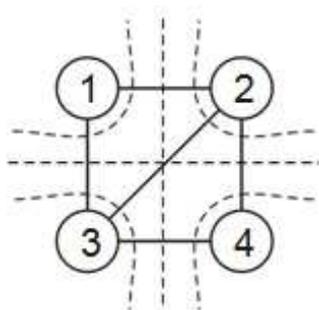
При описании технических систем аппарат ориентированных гиперграфов предоставляет проектировщику намного больше возможностей, чем обычные графы. Отметим недостатки данного подхода:

- это сравнительно новое научное направление, поэтому многие аспекты теории ориентированных гиперграфов исследованы недостаточно глубоко;
- язык ориентированных гиперграфов очень громоздок. Даже модели самой низкой размерности сложны для восприятия и расчета;
- это научное направление плохо обеспечено вычислительными алгоритмами и пакетами прикладных программ.

Следует упомянуть еще один подход к описанию собираемости и расчленяемости изделий, основанный на языке И–ИЛИ – графов (альтернативных графов). Этот формализм предложен и рассмотрен в работах [1, 2].

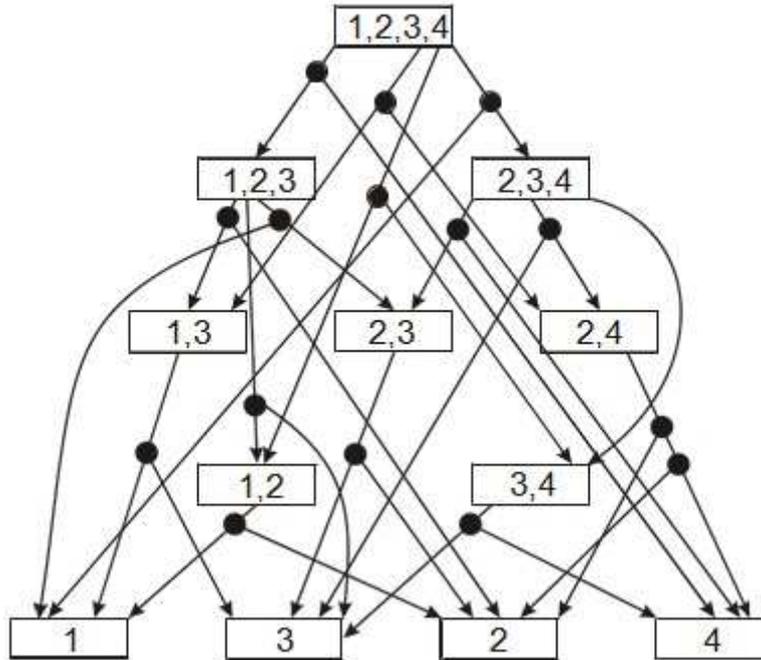
Свойство расчленяемости и собираемости изделия может быть представлено в единых терминах альтернативного графа, где корневая вершина описывает собранное изделие, листья отвечают деталям, И- вершины представляют сборочные единицы разных уровней иерархии, а ИЛИ-вершины задают альтернативные варианты разбиения на СЕ. Дуги альтернативного графа задают вхождение сборочных единиц и деталей в элементы высших уровней. Процедуры данного типа хорошо исследованы и документированы во многих публикациях по искусственному интеллекту и CALS-технологиям [3 – 10]. Решающий подграф документирует оба проектных решения: последовательность сборки и схему декомпозиции на сборочные единицы (СЕ).

Поясним суть сказанного на очень простом примере – конструкции ручного фонарика, состоящей из крышки корпуса (1), корпуса (2), батарейки (3) и головной части (4). Диаграмма связей этой простой конструкции показана на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Диаграмма связей деталей и разрезания графа**

Пунктирными линиями на этом рисунке изображены возможные разрезания диаграммы. На рисунке 2 показан И – ИЛИ-граф, задающий все варианты разбиения на сборочные единицы. Кванторы объединения (И, ИЛИ) обозначены на этом рисунке кружками черного цвета.



**Рисунок 2 – И – ИЛИ-граф, описывающий варианты разбиения и сборки фонарика**

Необходимо отметить, что существует значительное количество работ, посвященных не моделированию изделия и технологической среды, а расчетным и алгоритмическим задачам, возникающим при технологической подготовке сборочного производства. В большинстве исследований этой группы обсуждается задача поиска рациональной последовательности сборки изделия. Авторы полагают, что вся необходимая информация, влияющая на это проектное решение известна. Для поиска рациональной или оптимальной последовательности применяется различные методы: сети Петри, нейронные сети, генетические алгоритмы и другие методы дискретной математики.

#### **4. Заключение**

Рассмотренные графовые, гиперграфовые, сетевые, логические, и др. модели имеют несколько существенных недостатков. Они не используют «дедуктивную мощь» соответствующих разделов математики (логики, теории графов и пр.) для генерации искомых проектных решений. Средства теории графов применяются лишь для представления исходных данных и записи результатов. Графы представляют собой прекрасные примеры математических моделей, описывающие различные реальные ситуации. Иллюстрируют, что математика постоянно присутствует в окружающем мире. Изучение теории графов стимулирует индуктивное, комбинаторное и пространственное мышление. Помогают решать занимательные и прикладные задачи. Все описанные методы, независимо от используемого аппарата, требуют творческого неформализуемого участия эксперта, который должен извлечь из изделия и производственной системы ключевую проектную информацию. Важной особенностью

дескриптивных моделей является сложность верификации исходных данных, полученных от эксперта.

Графы представляют собой прекрасные примеры математических моделей, описывающие различные реальные ситуации. Иллюстрируют, что математика постоянно присутствует в окружающем мире. Изучение теории графов стимулирует индуктивное, комбинаторное и пространственное мышление. Помогают решать занимательные и прикладные задачи.

## Список информационных источников

- [1] Homem de Mello и Sukhan Lee. Автоматизированное планирование механической сборки. 1991. [Электронный ресурс] URL: <http://library.alibris.com/search/books/isbn/0792392051>.
- [2] Юрчик П.Ф., Мое К.К. Принципы оценки эффективности применения технологий информационной поддержки // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – № 1.1. – С. 91-97. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-1-10.
- [3] Гусеница Д.О., Юрчик П.Ф., Голубкова В.Б. Увеличение эффективности работы систем поддержки принятия решений с помощью интеграции прикладных информационных систем // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 4.1. – С. 62-67. DOI: 10.12731/2306-1561-2013-4-11.
- [4] Голубкова В.Б., Юрчик П.Ф., Гусеница Д.О. Применение интегрированных систем поддержки принятия решений для предотвращения сбоев в работе прикладных информационных систем // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 3(5). – С. 48-52.
- [5] Юрчик П.Ф., Зин В.Т. Системы управления жизненным циклом материалов для дорожных покрытий с использованием CALS-технологий // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – № 1.1. – С. 84-90. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-1-9.
- [6] Шилин А.Н., Юрчик П.Ф. Метод синхронизации данных при интеграции системы управления ресурсами предприятия в единое информационное пространство // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – № 4. – С. 62-70. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-4-7.
- [7] Юрчик П.Ф. Формализация задач принятия решений при управлении проектами обеспечения жизненного цикла автодорожных объектов / П.Ф. Юрчик, И.Н. Акиншина, А.В. Остроух, А.Г. Соленов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - М.: «Научтехлитиздат», 2007. – №3. – С. 13-18.
- [8] Остроух А.В. Проблемы и перспективы внедрения компонентов CALS-технологии на промышленных предприятиях / А.В. Остроух, Д.И. Попов, Д.А. Буров // Научный вестник МГТУ ГА. Серия «Аэромеханика и прочность, поддержание летной годности ВС». – 2008. – №130. – С. 138-147.
- [9] Юрчик П.Ф. Выбор проектов обеспечения жизненного цикла автодорожных объектов / П.Ф. Юрчик, А.В. Остроух // Автомобильные дороги. – М.: ЗАО «Издательство дороги», 2011. – №2. – С. 30-31.
- [10] Ostroukh A.V., Gusenitsa D.O., Golubkova V.B., Yurchik P.F. Integration of PDM and ERP systems within a unified information space of an enterprise // IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE). 2014. Vol. 16. Issue 02. V6. pp. 31-33. DOI: 10.9790/0661-16263133. ANED: 11.0661/iosr-jce-E016263133.