

УДК 629.7.023.002

Л.Н. КОРНИЛОВ¹, В.В. ВОРОНЬКО¹, Ю.А. ВОРОБЬЕВ¹, Д. БЕРНДТ²

¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

² *Фраунхофер-институт промышленного производства и автоматизации, Магдебург, Германия*

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СБОРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Статья посвящена вопросам автоматизации технологического проектирования, включающего в себя проектирование технологических процессов, технологической оснастки и элементов производственной системы. Предлагается с одних и тех же рабочих мест проектировать новые изделия и осуществлять технологическое проектирование. Для реализации такой модели необходимо формализовать отдельные этапы технологического проектирования, перечень которых приведен в статье. Предлагается для этой формализации использовать системный подход к сборочному процессу и аналитические методы системного анализа.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, системный подход, сборочные единицы, энтропия системы, аналитические методы системного анализа.

Введение

Технологическое проектирование включает в себя следующие работы [1, 2]:

- выполнение мероприятий по обеспечению производственной технологичности конструкции изделия;
- проектирование технологических процессов;
- проектирование элементов производственной системы;
- проектирование технологической оснастки.

Обеспечение производственной технологичности конструкции изделия подразумевает проведение анализа технологических возможностей существующей производственной системы, оценку качественных и расчет количественных показателей технологичности, разработку мероприятий по улучшению технологичности, введение принятых решений в техническую документацию.

Проектирование технологических процессов выполняется для изделий, конструкции которых отработаны на технологичность. Основные этапы разработки технологических процессов сборки следующие:

1. Выбор метода сборки и технологических баз на основе результатов расчета точности сборки.
2. Разработка технологического маршрута сборки путем определения последовательности установки составных частей (СЧ) изделия в сборочную оснастку.
3. Разработка содержания технологических операций и выбор средств технологического оснащения.
4. Нормирование технологических процессов,

т.е. расчет и нормирование затрат труда и материалов, определение разряда работ и обоснование профессии исполнителей.

При проектировании элементов производственной системы (имеется в виду формирование производственных подразделений на основе специализации цехов, участков и разработка структуры основного производства) определение специализации цехов, участков и разработка структуры основного производства осуществляется на основе группирования сходных в конструктивно-технологическом отношении объектов производства для всей номенклатуры изделий, включенных в годовую программу выпуска.

Проектирование элементов производственной системы должно включать в себя следующие этапы:

1. Формирование производственных подразделений на основе группирования технологических процессов сборки.

2. Определение количества основного технологического оборудования по производственным подразделениям.

Проектирование сборочной оснастки осуществляется при наличии следующей исходной информации:

- последовательности базирования и фиксации в приспособлении СЧ сборочной единицы (СЕ) (технологический маршрут сборки);
- номенклатуры инструмента и оборудования, применяемого при сборке;
- перечня сборочных баз и фиксируемых СЧ (базовых СЧ) сборочной единицы;
- требуемой степени точности сборки, которую необходимо обеспечить при сборке в сборочной оснастке.

Анализируя этапы работ, характеризующие технологическое проектирование в целом, можно сделать вывод о том, что разные этапы автоматизированного проектирования включают в себя общую информационную базу (маршрут сборки, конструктивно-технологические особенности СЕ и др.). В то же время выходная информация для одного этапа автоматизированного технологического проектирования может использоваться как исходная для других этапов. Это обстоятельство определяет постановку задачи в данной статье.

Постановка задачи

Современное состояние в области автоматизированного технологического проектирования в сборочном производстве можно охарактеризовать следующим образом. На авиационных предприятиях существует раздельное автоматизированное проектирование конструкций изделий, автоматизированное проектирование технологических процессов сборки, автоматизированное проектирование производственной системы, автоматизированное проектирование сборочной оснастки. В то же время, очевидно, что информация, полученная от носителей конструктивных особенностей СЕ, используется как исходная информация для разработки технологических процессов; информация, полученная из технологических процессов, используется для проектирования сборочной оснастки и производственных систем.

Наибольший эффект от автоматизации технологического проектирования может быть достигнут в том случае, когда с одних и тех же рабочих мест одновременно будут проектироваться как новые изделия, так и технологические процессы их изготовления, средства технологического оснащения и производственные системы.

Для реализации этой задачи необходимо решить некоторые частные вопросы, характеризующие автоматизированное технологическое проектирование в целом.

Основные результаты

Совокупность этих частных вопросов должна представить новую методологию автоматизированного проектирования, которая характеризуется принципиально новыми решениями. Эти решения должны быть представлены автоматизированными способами, которые формализуют отдельные этапы технологического проектирования СЕ. Наиболее важными из них являются следующие:

1. Представление чертежа СЕ для целей автоматизированного проектирования.
2. Частичная упорядоченность деталей СЕ.
3. Определение деталей СЕ, которые могут ус-

танавливаться параллельно друг с другом.

4. Получение сетевой модели сборки СЕ.
5. Определение базовых деталей в СЕ.
6. Строгая упорядоченность деталей СЕ.
7. Установление закономерности связей деталей СЕ для самолетостроительного производства.
8. Распознавание чертежа СЕ, т.е. определение к какому классу относится данная СЕ: панели, лонжероны и т.п.
9. Количественная оценка энтропии (меры степени неопределенности), вносимой каждой деталью в процесс сборки.

10. Определение понятия «развитие» для конструкций СЕ как результат генерирования информации. Можно предположить, что процесс развития и совершенствования конструкций СЕ может осуществляться двумя способами: самоорганизацией – генерирование информации осуществляется за счет увеличения численного состава деталей СЕ, обучением – генерирование информации осуществляется за счет формирования дополнительных связей между деталями без увеличения их численного состава.

11. Количественная оценка процесса развития и совершенствования конструкций СЕ.

12. Разработка методики и приведение алгоритма расчетов по выбору рационального членения изделия на подсборки.

13. Организация производства ЛА, состоящая в том, что при данном способе производства в зависимости от мощности цехов подготовки производства, сборочных цехов, трудоемкости СЕ выбирается оптимальная схема сборки с точки зрения минимизации затрат времени и труда.

14. Разработка способа формализации последовательности поступления СЧ на сборку в виде преобразователя информации – агрегата, для конкретных условий сборочного производства. Под «агрегатом» в данной статье понимается особый способ преобразования информации. Разработать схему функционирования агрегата. Аналогичные агрегаты должны быть разработаны для всех остальных операций технологического процесса (сверление, герметизация и т.д.). Это обеспечит единый методологический подход к формализации операций технологического процесса сборки.

15. Представление всего технологического процесса сборки в виде модели, представляющей агрегативную систему. Разработка схемы функционирования агрегативной системы.

16. Представление процесса автоматизации проектирования в виде экспертной системы с разработанными для этой системы фреймами и слотами.

17. Кодирование всех операций технологического процесса сборки.

18. Разработка основных этапов, последова-

тельности и алгоритма проектирования рационального варианта производственной системы. Критерием выбора варианта являются себестоимость сборки и приведенные затраты. По разработанному алгоритму выполняют расчеты критерия оптимизации в широком диапазоне масштабов производства, особенностей конструкции, уровня технологии и оснащения.

19. Проектирование сборочной оснастки, основанное на формализации процесса определения базовых деталей и однозначного соответствия технологического кода детали конструктивному оформлению сборочной оснастки.

Особенно важным является разработка в автоматизированном режиме способа определения последовательности установки СЧ, сверления, установки болтов и выполнения других операций сборки.

В ближайшем будущем в сборочном производстве будут использоваться гибкие автоматизированные комплексы, поэтому необходимо иметь не только маршрутный или маршрутно-операционный техпроцесс, а подробный операционный техпроцесс с раскрытием содержания отдельных операций сборки.

В общем цикле разработки технологического процесса сборки определение маршрута занимает до 40% времени технолога. В настоящее время технолог субъективно, в зависимости от своего опыта и квалификации, определяет маршрут процесса. В теоретическом плане рекомендуется создать обобщенную модель технологического процесса сборки СЕ данного класса, которая бы учитывала все возможные конструктивные особенности этой СЕ (например, панелей). На практике такую модель приходится многократно корректировать, учитывая конструктивные особенности СЕ, неохваченных системой классификации. Существуют рекомендации выражать связи между деталями и подбороками СЕ в виде матрицы смежности или в виде графа. Если фиксировать связи СЧ в виде графа, то такой граф оказывается неориентированным, если сделать его ориентированным, то это значит задать маршрут технологического процесса «вручную». Для автоматизированного проектирования необходимо формализовать задание маршрута техпроцесса таким образом, чтобы получить строгую последовательность установки СЧ, определить возможность параллельной установки СЧ и в результате выявить базовые детали или подборки, т.е. те СЧ, которые служат базой для установки других СЧ.

Частично теоретические пути разработки способов автоматизированного проектирования рассмотрены в работах [3, 4]. Это результаты совме-

стной деятельности специалистов НИАТ и Академии наук России. В работах кратко изложена математическая теория технологии сборки. Эта теория исходит из того, что детали собираются и располагаются друг относительно друга в строго определенной последовательности. Все детали СЕ разбиваются на упорядоченные пары. Определяются некие требования и отношения деталей между собой, которые характеризуют порядок их расположения в СЕ. Если эти требования выполняются, тогда записываются условия, обеспечивающие заданный в конструкции порядок установки деталей. Используется довольно сложный математический аппарат. Условия записываются, используя понятие «квантор всеобщности и существования». Используется язык логики предикатов для выражения логических связей между различными понятиями и утверждениями.

Основная трудность в практической работе – сложность в реализации математических зависимостей при автоматизированном проектировании.

Способы решения задачи определения последовательности установки деталей при сборке приведены в работах [5, 6].

Основой такой системы автоматизированного проектирования (САПР) является банк знаний. Для создания банка знаний требуются высококвалифицированные технологи, конструкторы, специалисты в области САПР, экономисты. В системе вместо алгоритма используется генератор программ, работающий, с одной стороны, на основе информации банка знаний, а с другой – на основе так называемого контекста, содержащего информацию о внешней среде и корректирующего информацию банка знаний в соответствии с влиянием внешней среды. Эта корректировка осуществляется через специальный транслятор банка знаний. Это, по сути дела, система искусственного интеллекта. Систем искусственного интеллекта, ориентированных на автоматизированное решение задач технологической подготовки производства (ТПП) в теоретическом плане создано немного. Одна из них – система искусственного интеллекта проектирования технологий машиностроения, разработанная под научным руководством академика Н.Г. Бруевича. В ней законы логики (аксиомы логики и правила вывода), а также законы технологии изготовления (механообработка, сборка) и производства занесены в банк знаний, контекстом является чертеж той детали, для изготовления которой надо разработать на ЭВМ технологический процесс. Эта система универсальна: она способна предложить технологический процесс для производства деталей любой геометрии.

Основная сложность – необходимо сформиро-

вать систему банков технологических, экономических и организационных знаний и данных и перейти к широкой эксплуатации цеховых, заводских сетей ЭВМ.

Среди САПР технологических процессов сборки наиболее комплексной в научном плане является система, разработанная в МАТИ [7, 8]. В ней основными задачами при проектировании являются:

- выбор конкретного состава и последовательности сборочных операций;
- выбор состава средств оснащения и исполнителей;
- выбор оптимального варианта технологического процесса.

Широко используются понятия «оператор» и «контур». Под контуром понимается отображение в математической модели конструктивно-технологических характеристик СЕ (количество СЧ, их связи между собой, базовые СЧ и др.). Оператор – отображение в математической модели элементов производственного, технологического процесса (последовательности операций техпроцесса, вариантов оснащения инструментом, приспособлениями и др.). Взаимосвязь контуров и операторов осуществляется на основе известных моделей: табличных, сетевых, перестановочных.

Табличная модель используется для поиска стандартных решений, типового состава оборудования, инструмента; сетевая модель – для выбора унифицированных решений – вариантов технологических процессов; перестановочные модели – для получения индивидуальных проектных решений. Основная сложность реализации системы заключается в большом объеме предварительной работы по разработке контуров, операторов и моделей всех типов.

Представляется необходимым для разработки выше перечисленных способов автоматизированного технологического проектирования использовать системный подход к сборочному процессу.

Целесообразно рассматривать СЕ (панели, лонжероны, шпангоуты, секции и т.д.) как совокупность элементов – деталей и подборок СЕ. Объект можно считать системой, если он обладает четырьмя свойствами [9]:

1. Свойство целостности и членимости. Это означает, что СЕ – целостное образование и в ее составе могут быть выделены целостные объекты – детали и подборы.
2. Свойство связи. Наличие связей (отношений) между СЧ является следующим свойством системы.
3. Свойство организации, что проявляется в снижении энтропии (степени неопределенности) системы по сравнению с энтропией системоформи-

рующих факторов, определяющих возможность создания системы. К системоформирующим факторам относится число элементов (СЧ) системы; число связей, которыми может обладать СЧ; число временных отрезков, в которых могут находиться СЧ и связи.

Формально свойство организации можно представить соотношением:

$$H(S) < H(F),$$

где $H(S)$ – энтропия системы; $H(F)$ – энтропия системоформирующих факторов.

Приведенное неравенство показывает, что возникновение организации в системе – это формирование связей СЧ, упорядоченное распределение связей и СЧ во времени и пространстве. При формировании связей образуется определенная структура системы.

4. Свойство интегративных качеств. Интегративные качества – это такие качества, которые характерны для системы в целом, но несвойственны ни одному из ее элементов в отдельности.

СЕ в самолетостроении обладают всеми рассмотренными свойствами и поэтому можно считать, что они представляют систему. Это дает возможность использовать аналитические методы, традиционно используемые в системном анализе. К ним относятся, например, метод «черного ящика», метод преобразования информации с помощью агрегатов, модели теории графов, модели, основанные на концепциях теории информации.

Критериями для оценки системы могут быть:

- в сфере технологического проектирования – сокращение времени проектирования и, как следствие, сокращение общего срока подготовки производства;
- в сфере производства – сокращение цикла, трудоемкости и себестоимости сборки за счет автоматизированного проектирования;
- в сфере эксплуатации – экономический эффект, который может быть получен за счет более раннего начала эксплуатации летательных аппаратов и повышения ресурса за счет повышения качества технологического проектирования.

Заключение

1. Автоматизированное технологическое проектирование наиболее эффективно в том случае, если с одних и тех же рабочих мест будут проектироваться не только конструкции СЕ, но и будет осуществляться проектирование технологических процессов, технологической оснастки и элементов производственной системы. Для решения такой задачи предлагается разработать способы, которые характеризуют автоматизированное технологическое проектирование в целом.

2. Предлагается для автоматизированного технологического проектирования использовать аналитические методы системного анализа. В частности, метод преобразования информации с помощью агрегатов. Агрегат является сравнительно простой, легко реализуемой на практике схемой. Применение агрегата позволит унифицировать математическое описание всех операций технологического процесса, осуществить единый методологический подход к количественному анализу исходной информации.

Литература

1. ГОСТ 14.416-83. Организация автоматизированного технологического проектирования [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 360 с.
2. Руководство по организации технологической подготовки производства // Труды института. – М.: НИИАТ, 1972. – 498 с.
3. Математическая теория технологии сборки [Текст]: Доклады академии наук СССР / Н.Т. Бруевич, П.Н. Белянин, Б.Б. Челищев, Гонсалес

Сабатер. – 1989. – Т. 246. – С. 153-165.

4. Белянин, П.Н. Автоматизация и электронизация производства в машиностроении [Текст] / П.Н. Белянин // Вестник академии наук СССР. – 1987. – №3. – С. 82-92.
5. Бруевич, Н.Т. Системы искусственного интеллекта проектирования технологии [Текст] / Н.Т. Бруевич, П.Н. Белянин, Б.Б. Челищев. – М.: Машиностроение, 1988. – 83 с.
6. Челищев, Б.Б. О кибернетических методах анализа и решения задач [Текст] / Б.Б. Челищев. – М.: НИИАТ, 1987. С. 58.
7. Павлов, В.В. Теоретические основы сборки летательных аппаратов [Текст] / В.В. Павлов. – М.: МАТИ, 1997. – 76 с.
8. Павлов, В.В. Основы автоматизации проектирования технологических процессов сборки летательных аппаратов [Текст] / В.В. Павлов. – М.: МАТИ, 1995. – 112 с.
9. Основы синтеза систем летательных аппаратов [Текст] / под ред. проф. А.А. Лебедева. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.

Поступила в редакцию 04.09.2013, рассмотрена на редколлегии 11.09.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры техники и технологии Ф.В. Новиков, Харьковский национальный экономический университет, Харьков.

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ФОРМАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ У СКЛАДАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Л.М. Корнілов, В.В. Воронько, Ю.А. Воробйов, Д. Берндт

Стаття присвячена питанням автоматизації технологічного проектування, що включає в себе проектування технологічних процесів, технологічного оснащення та елементів виробничої системи. Пропонується з одних і тих же робочих місць проектувати нові вироби і здійснювати технологічне проектування. Для реалізації такої моделі необхідно формалізувати окремі етапи технологічного проектування, перелік яких наведено у статті. Пропонується для цієї формалізації використовувати системний підхід до складального процесу і аналітичні методи системного аналізу.

Ключові слова: автоматизоване проектування, системний підхід, складальні одиниці, ентропія системи, аналітичні методи системного аналізу.

SYSTEMATIC APPROACH TO THE FORMALIZATION OF THE AUTOMATED TECHNOLOGICAL DESIGNING PROCESS IN THE ASSEMBLY INDUSTRY

L.N. Kornilov, V.V. Voronko, Yu.A. Vorobyov, D. Berndt

The article deals with automation of the design, including the design of manufacturing processes, tooling and production elements of the system. Offered with the same jobs to design new products and to implement technological design. To implement this model, you need to formalize the individual stages of the design process, a list of which is given in the article. It is proposed to formalize this, a systematic approach to the building process and analytical methods for system analysis.

Key words: computer-aided design, system approach, sub-assemblies, the entropy of the system, the analytical techniques of systems analysis.

Корнілов Леонід Николаевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри економіки, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харьков, Україна

Воронько Віталій Володимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технології виробництва летальних апаратів, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харьков, Україна, e-mail: vitaliy.voronko@gmail.com.

Воробйов Юрій Анатольевич – канд. техн. наук, доцент, професор кафедри технології виробництва летальних апаратів, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харьков, Україна, e-mail: yurii.vorobyov@gmail.com.

Берндт Дирк – начальник отдела, Фраунхофер-институт промышленного производства и автоматизации, Магдебург, Германия, e-mail: Dirk.Berndt@iff.fraunhofer.de.