

УДК 65.011.56

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

© 2011 М.Н. Мантусов, Г.Л. Ривин

Институт авиационных технологий и управления
Ульяновского государственного технического университета

Поступила в редакцию 12.05.2011

В статье авторы рассматривают метод оптимизации конструкторско-технологического проектирования, позволяющий снизить трудоемкость и длительность проектирования, повысить качество принимаемых решений. Метод позволяет учесть основные факторы, влияющие на принятие конструкторско-технологических решений проектируемого изделия. Приведено сравнение предлагаемого метода с существующими методами определения параметров проектируемой конструкции. Представлена его архитектура и сетевой граф, показывающий преимущества его применения. Ключевые слова: конструкторско-технологическое проектирование, трудоемкость, архитектура метода, сетевой граф.

В настоящее время в России наблюдается факт явного устаревания методов создания изделий, технологических процессов подготовки нового производства или перевооружения старого.

При разработке проектов на практике используются устаревшие подходы. Специалистам приходится прорабатывать большое количество конструкторской и нормативно – технической документации для определения какого-либо параметра проектируемого изделия, что требует не малых временных затрат. Например, инженеру-конструктору при выборе какого-либо типа соединения крепежными элементами приходится прорабатывать каталоги стандартных крепежных элементов, применяемых на предприятии, которые содержат огромное количество информации. При создании или доработке самолетов семейства ТУ-204 на предприятии ЗАО «Авиастар-СП» разрешено к использованию более семисот наименований отраслевых стандартов крепежных элементов, из которых не менее ста болтов, гаек, шайб и т.п. Каждый из элементов, принадлежащих тому или иному отраслевому стандарту, имеет свой ряд типоразмеров, то есть промежуток длин, диаметров и т.д. Далее, используется каталог с наименованием более двух тысяч видов пресованных профилей, из которых только равносторонних уголков свыше ста видов. На предприятии существуют перечни, в которых определены к использованию хомуты, уплотнители, фланцевые соединения, арматуры

и др., что в итоге составляет огромную информационную базу, для работы с которой требуется определенный уровень знаний и соответствующие временные затраты.

Многочисленные исследования, проводимые в области проектирования, подтверждают, что увеличить продолжительность жизненного цикла некоторых видов технических систем можно за счет сокращения сроков проектирования и за счет внедрения систем автоматизации проектирования (САПР) [2]. При анализе трудоемкости этапов проектирования выделен этап – разработка комплекта документации, который занимает от 50 до 80% времени общего времени проектирования. Следовательно, можно сделать вывод, что внедрение соответствующих средств автоматизации позволяет существенно снизить длительность основных этапов проектирования изделия.

Для повышения эффективности нужны новые технологические решения. Наиболее целесообразными являются решения на интеллектуальном уровне, которые позволили бы поднять разработку и производство изделий на принципиально новый уровень, сравнимый с уровнем ведущих авиастроительных производств или выше, при минимальных затратах на их реализацию и эксплуатацию. Необходима разработка и активное применение новых, передовых методов проектирования изделий с учетом использования современных технологий их изготовления, включая сборку. Например, для снижения трудоемкости изготовления изделий на практике проектирования внедряются и используются методы автоматизированного расчета параметров технологических процессов, параллельно с этапом конструкторского проектирования. Оче-

Мантусов Михаил Николаевич, аспирант кафедры «Самолетостроение».

Ривин Георгий Леонидович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Самолетостроение».

Тел. (8422) 20-96-96.

видно, что лучше, если этот расчет будет производиться непосредственно на этапе проектирования изделия в автоматизированном режиме.

В связи с этим актуальное значение приобретает создание метода, позволяющего оптимизировать процесс разработки изделия на ранней стадии его проектирования с оценкой параметров технологического процесса его применения.

Разрабатываемый метод основан на рациональном выборе элемента конструкции по выполняемой им функции с учетом технологических возможностей производства. Метод позволяет максимально уменьшить пространство допустимых решений, учесть как количественные, так и качественные показатели искомого элемента с учетом параметров технологического процесса его изготовления.

Схема разрабатываемого метода представлена на рис. 1. В схеме рассмотрена архитектура метода без подробного раскрытия каждого из блоков. Определена функция – блок “Анализатор требований”, которая ссылается на базу элементов созданной на основе тезауруса – “Библиотека функций”. Далее происходит отбор типа элементов выполняющих эту функцию “Модуль выбора подходящих типозаэлементов I”, на этом этапе на них накладываются конструктивные ограничения “Блок ограничений I”. Происходит

отбор элементов удовлетворяющих всем требованиям блока ограничений I. Отобранные элементы не проходят на следующий этап, если они не удовлетворяют хотя бы одному из типов накладываемых ограничений. На этом же этапе накладываются технологические ограничения “Блок ограничений II” происходит отбор элементов удовлетворяющих всем ограничениям. Последний этап отбора “Блок ограничений III”, ограничение задаваемое пользователем, в зависимости от того какой из параметров изделия для него наиболее важен, наименьшая масса, наибольшая жесткость и др.

По выбранным элементам производится автоматизированный расчет параметров технологических процессов изготовления или применения элементов при помощи базы содержащей типовые технологические процессы, нормы расхода материалов и другие реквизиты. Так же определяются нормы основных и вспомогательных материалов, необходимого инструмента, рассчитывается трудоёмкость и другие параметры технологического процесса применения выбранных элементов.

В случае, если на первом или втором этапах отбора не выявлен ни один из элементов удовлетворяющий требованиям накладываемых ограничений, выявляется необходимость создания спе-

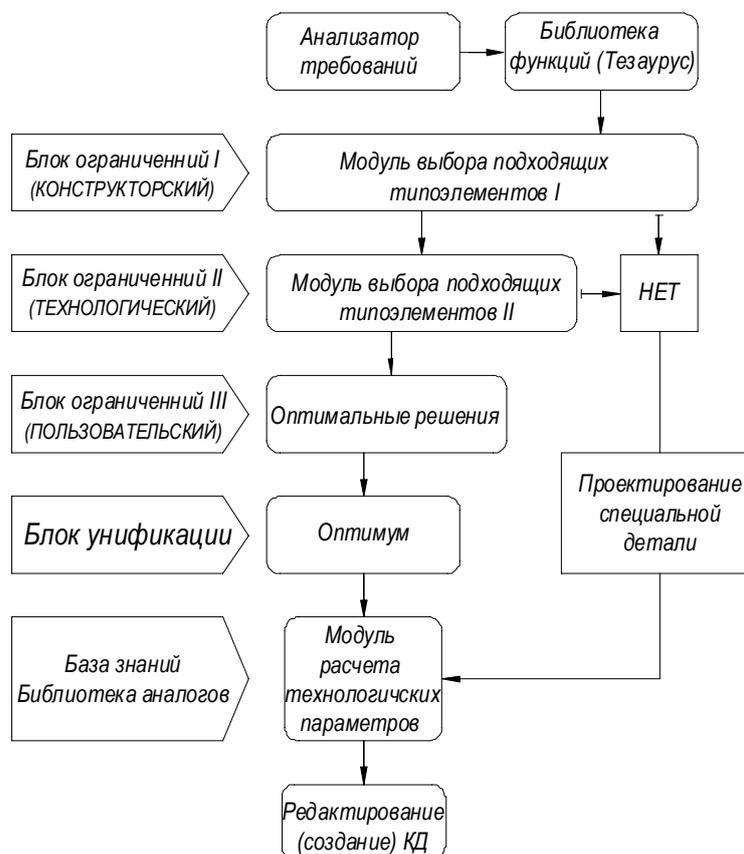


Рис. 1. Архитектура метода оптимизации при проектировании, описывающая этапы подбора элементов

циальной детали, необходимой для выполнения данной функции. После проектирования специальной детали (деталь, имеющая отличия от стандартных, которая будет изготавливаться по вновь созданному чертежу) проводится уточнение исходных данных для корректировки и расчета параметров технологических процессов ее применения при производстве летательного аппарата.

Итогом всего цикла является подбор искомых элементов, оптимально выполняющих заданную функцию, с выпуском или корректировкой конструкторской и технологической документации.

Для определения более оптимального варианта и повышения качества проекта предлагается добавить “Модуль ограничений IV” или “Модуль унификации”. Он должен содержать информацию об использовании выбранного типозлемента ранее и выдавать данные о том, в какой конструкции и в каком количестве был применен. Модуль будет задействован в автоматическом режиме в случае получения нескольких видов “Оптимальных решений”.

В предлагаемом методе определяются соединения и элементы, реализующие их по выполняемой функции за счет наложения ограничений, то есть после проведения конструктивно-технологического анализа выбранной группы изделий.

Количество ограничивающих критериев в задаче выбора элемента для каждой функции разное. Весомость критериев применительно к определенной локальной задаче проектирования какой-либо функции вещь не постоянная. В задачу пользователя также входит необходимость провести исследование и взвесить каждый критерий, влияющий на отбор элемента выполняющего какую либо функцию.

Новый метод призван совместно с пользователем получать на конце цикла оптимум решения задачи. Разработка метода проводится, не выходя за границы четырех основных направлений:

$$K \rightarrow \max; R \rightarrow \min; T \rightarrow \min; C \rightarrow \min,$$

где: K – качество проекта; R – затраты на реализацию; T – время реализации; C – сложность реализации.

При использовании данного метода качество проектирования должно возрасти, пользователю дается возможность в большей степени заниматься вопросами исследования различных вариантов решений и варьировать конечным результатом при изменении исходных данных.

Одно из главных преимуществ метода в том, что в процессе работы с его использованием интеллектуальная работа пользователя вырастет по части принятия окончательного решения, а рутинная работа отдана компьютеру [2].

Проведем сравнительный анализ методов подбора элементов, существующих сегодня, и предлагаемого метода. Для этого на рис. 2 пред-

ставлены две схемы “As is” – как есть и “to be” – как должно быть (при использовании предлагаемого метода автоматизации).

В схемах показан маршрут и примерный объем труда конструктора и технолога при подборе, какого либо элемента авиационной конструкции, например крепежа, прессованного профиля и так далее. Буквами над стрелками обозначены исполнители той или иной работы, где “К” – конструктор, “Т” – технолог. Буквенные индексы в правом верхнем углу блоков означают степень автоматизации процессов, где “А” – полностью автоматизированный процесс, “ЧА” – частично автоматизированный процесс, “НА” – неавтоматизированный процесс (выполняется вручную).

Для наглядности и определения кратчайшего пути объединим их, построив сетевой график, представляющий собой информационно – динамическую модель, в которой отражаются взаимосвязи и результаты всех работ, необходимых для достижения конечной цели (см. рис. 3), где:

P_1 – постановка задачи (ТЗ);

P_2 – поиск конструктором возможных вариантов элементов для выполнения задачи;

P_3 – выбор элементов удовлетворяющих конструктивным требованиям;

P_4 – выбор конструктором и технологом элементов из P_3 удовлетворяющих технологическим требованиям предприятия;

P_5 – выбор оптимального варианта из всех возможных, например с наименьшей массой;

P_6 – расчет технологом технологических параметров применения элемента, разработка технологического процесса;

P_7 – выпуск конструктором и технологом конструкторской и технологической документации;

P_8 – система автоматизированного выбора элементов (пользователь, в нашем случае инженер-конструктор, задает данные для поиска и граничные условия);

P_9 – выбор оптимума в автоматическом режиме, по решению пользователя;

P_{10} – расчет технологических параметров применения элемента, разработка технологического процесса, в автоматизированном режиме.

Операции P_8, P_9, P_{10} – проводятся в автоматическом режиме при минимальном вмешательстве пользователя, ему отведено только задание граничных условий и принятие окончательного решения, а все поисковые и сравнительные операции отданы компьютеру.

Введем коэффициент времени выполнения задач T_i , примем, что в начале этапа проектирования $T_i = 0$, а весь цикл решения задачи традиционным способом $T_i = T_7 = 1$. Тогда интервал времени распределится примерно следующим образом

$T_1=0,1; T_2=0,1; T_3=0,1; T_4=0,1; T_5=0,3; T_6=0,3.$

Из сетевого графа видно что операции $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7$ или P_1, P_6, P_7 выполняемые пользователем вручную, при применении метода автоматизации заменяются операциями P_1, P_8, P_9, P_{10} .

Выполнение данных операций с применением метода автоматизации занимает гораздо меньшее время, так как поиск оптимальных элементов удовлетворяющих как конструкторским, так и технологическим требованиям проводится в автоматическом режиме на ЭВМ, а так же и расчет технологических параметров применения этого элемента. В случае если пользователь очень высоко квалифицирован, опытен, то возможен вариант пути $P_1 - P_6 - P_7$, этот путь предпочтительнее пути $P_1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7$, не затрачивается время на поиск "оптимума", но он требует высокой квалификации инженера и, в отличие от автоматизированного метода (путь $P_1 - P_8 - P_9 - P_{10} - P_7$), расчет технологических параметров применения элемента проводится вручную. Временные затраты запишем следующим образом:

$$\sum_{i=1}^6 T_i > \sum_{i=6}^7 T_i \geq \sum_{i=8}^{11} T_i. \quad (1)$$

В предыдущей работе ([1]) данный метод подробно рассматривался на примере выбора элементов, выполняющих функцию соединения крышки люка кессона крыла с панелью кессона крыла. В дальнейшем после подробной проработки этого метода на примере данного соединения, проведения сравнительного анализа, был получен предварительный коэффициент автоматизации $K_a \approx 60\%$. То есть время выбора элемента, оптимально выполняющего заданную функцию и расчет технологических параметров его применения сократилось на 60%. Учтем эти данные в дальнейших расчетах. Так как $\sum_{i=1}^6 T_i = 1$, то время выполнения всех операций в автоматизированном режиме примем равным $\sum_{i=8}^{11} T_i = 0,4$.

С учетом того, что в обоих сравниваемых методах выпуск конструкторской документации проводится вручную и на него затрачивается 0,3 от всего времени пути графа, то примем $T_6 = T_{11} = 0,3$, то есть на выполнение операций $P_1 - P_8 - P_9 - P_{10}$ будет затрачено время

$$\sum_{i=8}^{10} T_i = \sum_{i=8}^{11} (T_i) - T_{11} = 0,4 - 0,3 = 0,1.$$

Из выше сказанного несложно подсчитать, что на выполнение таких операций, как подбор элемента, оптимально выполняющего заданную функцию, расчет технологических параметров приме-

нения выбранного элемента, подбор типового технологического процесса его применения и прочих, в ручном режиме необходимо до 70% всего времени разработки, а при применении предлагаемого метода это время сокращается в 6-7 раз.

В функционально стоимостном анализе для оптимизации управления существует показатель для измерения эффективности, это показатель *относительной эффективной стоимости* $S_{om.эф.см.}$. Применим его к описанию эффективности этапа конструкторско-технологического проектирования с использованием предлагаемого метода оптимизации [3].

$$S_{om.эф.см} = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} {}^0F_{ij}}{\sum_{i=1}^n C_{ij} \times t} = \max, \quad (2)$$

где $\sum_{i=1}^{n_i} {}^0F_{ij}$ – коэффициент эффективности управления (проектирования);

$\sum_{i=1}^{n_i} C_{ij}$ – затраты на подготовку и реализацию решений;

t – время на подготовку и реализацию решений.

Применение этого показателя отражает понимание того, что эффективность управления есть ничто иное, как достижение поставленной цели данными средствами в установленное время.

При сравнении эффективности предлагаемого метода с существующим параметр $\sum_{i=1}^{n_i} {}^0F_{ij}$ бу-

дем считать неизменным. $\sum_{i=1}^{n_i} C_{ij}$ - это затраты на создание баз, их кодирование и разработку, установку программного обеспечения, то есть единичные затраты, которые полностью окупаются, даже при мелкосерийном производстве. К тому же созданные базы можно использовать в других типах систем, используемых или планируемых к использованию на предприятии. Соответственно при снижении параметра t , в нашем случае примерно на 60%, эффективность при проектировании с применением описанного метода увеличивается более чем в два раза.

В отличие от традиционных подходов, такой метод основан на так называемой технологии сквозного инженеринга (Concurrent Engineering), идея которой заключается в одновременном проектировании изделия, технологического процесса и производственной системы. Он рассматривает конструктивные и технологические параметры как ограничивающую систему в анализе необходимо-

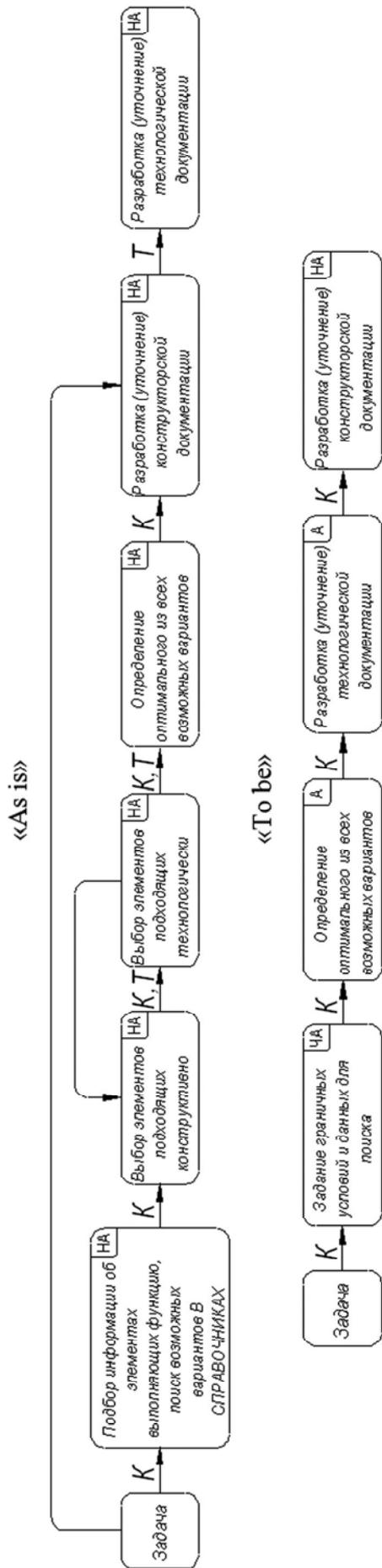


Рис. 2. Схемы “Как есть” и “Как должно быть” выбора элемента конструкции

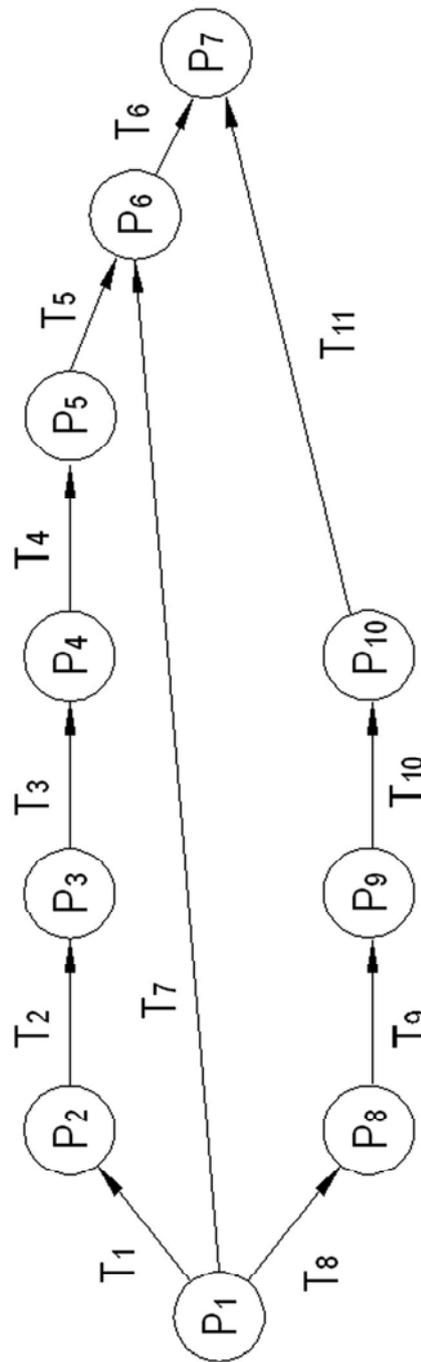


Рис. 3. Сетевой график процессов выбора элементов

го элемента. Выбор элемента осуществляется на основе выполнения необходимой функции и базы конструкторско-технологических данных. Метод выбора вариантов решения определенных задач по функции носит целенаправленный характер и позволит уменьшить пространство допустимых решений при проектировании.

Для создания и упорядочивания базы элементов и их функций на практике принято использовать информационно-технологический тезаурус, который, помимо конструктивно-технического и математического описания, дает и функциональное описание элемента на языке выполняемых функций и их отношений. В дальнейшей работе предполагается создать тезаурус крыла самолета, а на примере этого агрегата и его элементов – разработать метод и математическую модель процедуры определения элемента по функции.

Данный подход является актуальным, так как на этапе развития методов создания проектов, параллельно с конструкторской разработкой, требуется проводить и технологические расчёты в кратчайшие сроки. Метод предназначен для снижения общей трудоёмкости и проектно-технологических процедур проектирования изделий.

Таким образом, метод определения элемента по выполняемой им функции обеспечивает выбор

рациональных конструкторско-технологических решений по различным критериям (массе, прочности и т.п.), а также обеспечивает создание конструкторской и технологической документации для нужных вариантов конструкции.

Предлагаемый метод может использоваться в любом производстве и что особенно важно при конструкторско-технологическом проектировании сложных изделий [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мантусов М.Н., Ривин Г.Л.* Разработка метода оптимизации конструкторско-технологического проектирования агрегатов самолета с использованием информационных технологий // Известия Самарского научного центра РАН. 2009. №3(2). С. 536-541.
2. *Мантусов М.Н., Ривин Г.Л.* Научные исследования в области транспортных, авиационных и космических систем “АКТ-2009” (авиация, космос, транспорт): Труды X Всерос. науч.-техн. конференции и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. Воронеж: ООО Фирма “Элист”, 2009. 528 с.
3. *Попов П.М., Ляшко Ф.Е.* Оптимальное управление в ходе эволюционного развития процессов и систем: Учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2000. 148 с.
4. *Ребрин Ю.И.* Основы экономики и управления производством. Конспект лекций. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. URL: <http://www.aup.ru/books/m47/> (дата обращения 4.04.2011).

OPTIMIZATION OF ENGINEERING AND TECHNOLOGICAL DESIGNING OF AVIATION CONSTRUCTION WITH USING INFORMATION TECHNOLOGIES

© 2011 M.N. Mantusov, G.L. Rivin

Institute of Aviation Technologies and Management,
Ulyanovsk State Technical University

In this article authors review a method of optimization engineering and technological designing, allowing reduces laboriousness and duration of designing, to raise quality of accepted decisions. The method allows consider the major factors, which influence to acceptance of engineering and technological decisions of projected product. Comparison of offered method with existing principles of parameters definition projected construction is resulted. Architecture and the net graph of this method showing advantages of its adaptation are presented.

Key words: engineering and technological designing, laboriousness, architecture, net graph.

Michael Mantusov, Graduate Student at the Aircraft Construction Department.

Georgy Rivin, Candidate of Technics, Associate Professor at the Aircraft Construction Department. Tel. (8422) 20-96-96.