

УДК 623.4.01

С. Г. Селетков, доктор технических наук, профессор
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

ПРОЦЕДУРНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Необходимость повысить эффективность проектирования технических достижений предполагает выработку новых приемов и методов, позволяющих более рационально организовать мышление человека. Переход к новым формам проектирования становится особенно актуальным в условиях постоянного усложнения технических комплексов, необходимостью увеличения периода эксплуатации образцов вооружения до наступления их морального износа, а также сокращения сроков проектирования. Повышение производительности труда при проектировании ствольного вооружения предполагает систематизацию способов повышения его эффективности, разработку специализированных методов проектирования, включая эвристические и программные приемы анализа и синтеза, фондов технических решений и физических эффектов, создания отраслевой процедурной модели поиска технических решений с оценкой эффективности их применения. В статье предлагается логическая схема проектирования, которая может быть представлена процедурной моделью, реализующей системный подход к проектированию, и является обобщением ряда известных работ. Процедурная модель дает наглядное представление об основных процедурах и операциях проектирования, методах их проведения, указывает на необходимые источники информации.

Ключевые слова: проектирование, технические системы, ствольное вооружение, процедурная модель.

Различного рода противоречия: административные, физические, технологические [1], возникающие при стремлении наиболее полно удовлетворить растущие потребности, а также социальный спрос на новые, более совершенные технические устройства – с нарастающим ускорением ведут к все более интенсивному техническому прогрессу. Необходимость повысить эффективность проектирования технических достижений предполагает выработку новых приемов и методов, позволяющих более рационально организовать мышление человека, развить и полнее реализовать его способности, освобождая от рутинного труда.

Успешное решение задач проектирования ствольного вооружения, как и задач машиностроения в целом, базируется на совершенствовании известных, а также разработке и освоении новых образцов, технологий и материалов. Знание «жизненных кривых» технических объектов позволяет выявлять резервы их развития, целесообразность совершенствования или выработки принципиально новых решений. Особенности прогресса военной техники обуславливают свои ограничения на закономерности ее развития. К ним можно отнести существенную зависимость военно-технического развития от политической обстановки в стране и за ее пределами; скрытие от потенциального противника новинок вооружения; возможность возникновения острой потребности в совершенствовании имеющихся на вооружении или создании новых военных комплексов при нарушении паритета.

Анализ развития и результаты прогнозов развития военной техники, в частности, выполненные в работах [2, 3], свидетельствуют о неуклонном росте качественных характеристик систем ствольного вооружения. Как показал сопоставительный анализ, актуальным остается и совершенствование устройств ствольных систем, позволяющих уменьшить степень воздействия выстрела на орудие, в частности, в результате действия импульса отдачи при выстреле.

Заметное влияние на рост показателей качества технических систем оказывают бурно развивающиеся

методы, рационализирующие решение задач проектирования, включая задачи на уровне изобретения. Переход к новым формам проектирования становится особенно актуальным в условиях постоянного усложнения технических комплексов, необходимости увеличения периода эксплуатации образцов вооружения до наступления их морального износа, а также сокращения сроков проектирования.

Повышение производительности труда при проектировании ствольного вооружения предполагает систематизацию способов повышения его эффективности, разработку специализированных методов проектирования, включая эвристические и программные приемы анализа и синтеза, фондов технических решений и физических эффектов, создания отраслевой процедурной модели поиска технических решений с оценкой эффективности их применения.

Проектированием или предварительным описанием будущего объекта как предмета труда человечество занимается со времени начала его познавательной деятельности. Проектирование сочетает в себе элементы науки и искусства [4], а многообразие его форм приложения от разрешения социальных противоречий, до решения чисто технических проблем обуславливает неоднозначность его определения как вида деятельности. Приведем некоторые из известных определений понятия «проектирование» известными специалистами в хронологической последовательности их появления:

М. Азимов [5]: «Принятие решений в условиях неопределенности с тяжелыми последствиями в случае ошибки» (1962 г.).

Л. Б. Арчер [6]: «Целенаправленная деятельность по решению задач» (1965 г.).

Ю. В. Чуев [7]: «Процесс разработки технического устройства, обеспечивающего оптимальное решение поставленной задачи при некоторых ограничениях, налагаемых на решение» (1978 г.).

В. П. Быков [8]: «Форма познания объективного мира» (1979 г.).

Дж. К. Джонс [9]: «Деятельность, направленная на изменение окружающей человека среды» (1982 г.).

А. А. Коновалов [10]: «Разработка модели оптимального качества» (1984 г.).

Ограничиваясь областью проектирования технических устройств и обобщая приведенные высказывания, определим проектирование, как индивидуальную или коллективную деятельность с моделями проектируемого объекта от момента осознания потребности в каком-либо техническом решении до момента подготовки технической документации на изготовление устройства, способного удовлетворить или существенно ослабить возникшую потребность.

Неоднозначность в определении процесса проектирования обуславливает неоднозначность в подходах к методологии и процедурам проектирования как учению о структуре, логической организации, методах и средствах поиска решений. Приведем наиболее известные.

Ф. Ханзен [11] выделяет четыре этапа проектирования: выделение ядра задания; описание возможных принципов работы и функций; анализ недостатков в каждом принципе по выполнению каждой из функций; выбор улучшенного рабочего принципа с минимумом недостатков.

П. Хилл [12] содержание этапов проектирования сводит к следующим: определение потребности как столкновение проектировщика с ситуацией, которая раздражает и волнует; определение цели и характеристик проектируемого объекта; научные исследования – сбор всей доступной информации для решения задач, возникающих из поставленной цели; выработка концепций – вариантов возможных решений; анализ вариантов; эксперимент – испытание опытных моделей; решение – описание проектируемого объекта.

Аналогичные описания этапов проектирования находим также в работах: Дж. К. Джонса, А. Холла [13], А. М. Дворянкина, А. М. Половинкина, А. Н. Соболева, А. В. Чуса, В. А. Данченко.

Несколько подробнее остановимся на метапроцедурах проектирования. Первая из них – декомпозиция, при которой цель проектирования – разработка проектной документации, необходимой и достаточной для изготовления объекта, – разбивается на задачи и стадии разработки. В приведенной ниже процедурной модели (табл. 1) такими стадиями являются: техническое задание, техническое предложение, эскизный проект, технический проект, рабочая документация. Развитие методики приводит к дальнейшей декомпозиции задач, но уже на каждой стадии. Декомпозиция требует логической последовательности действий, наилучшим образом организующей процесс проектирования, способствуя тому, что на определенной ее ступени задачи переходят в разряд алгоритмических.

Другой важной метапроцедурой проектирования является целенаправленный поиск вариантов технического решения. Эта метапроцедура может быть сопоставима с процессом сравнения оперативных моделей технического объекта с его целевой моделью. Подход к процессу проектирования с позиции теории познания позволяет отнести этот процесс

к распознаванию [14], то есть процессу принятия решения о принадлежности того или иного объекта к определенному классу объектов. Отметим, что процесс проектирования можно разделить на две части: информативный поиск и обслуживание. При этом информационный поиск заключается в обработке информации и ее оценке, а обслуживание состоит в принятии решения в процессе манипуляций с оперативными моделями и выбора определенной, наиболее соответствующей конкретной задаче.

Если ситуация хорошо знакома и не требует творческого подхода, информационный поиск мал по объему и проектирование состоит в прямом замыкании входной информации на постоянную концептуальную модель. Проектирование с отсроченным обслуживанием характеризуется развернутым во времени информационным поиском, а творческие изыскания превращаются в самостоятельную процедуру, состоящую в переходе к формированию ряда оперативных моделей.

Сложность современных технических объектов, состоящих из многочисленных компонентов, различным образом взаимодействующих друг с другом и окружающей средой, требует системного подхода. До начала распознавания проектировщик должен располагать классификацией известных объектов в виде связанной информации, имеющих отношение к объекту проектирования. Ф. Ханзен [15] считает, что для отыскания пути к лучшему решению необходимо иметь ясное и простое указание к действиям в виде методов, связанных в обозримую систему.

Так, логическая схема проектирования может быть представлена процедурной моделью (табл. 1), реализующей системный подход к проектированию и являющейся обобщением ряда работ [16–21]. В качестве базовой принята процедурная модель, разработанная в [22]. Процедурная модель дает наглядное представление об основных процедурах и операциях проектирования, методах их проведения, указывает на источники информации.

На каждом этапе, предусмотренном процедурной моделью проектирования, создаваемый объект получает описание признаков, образующих некоторое пространство, при этом область значений признакового пространства сужается за счет конкретизации описания структуры элементов объекта и их параметров. Описание может быть: целевым, определяющим достигаемые с его созданием и использованием цели; концептуальным, дающим представление об идее технического решения; функциональным; структурным, определяющим элементный состав; динамическим, позволяющим описать взаимодействие во времени элементов с окружающей средой и между собой и, наконец, параметрическим, представляющим значения параметров технической системы.

Проектирование начинается с момента осознания потребности в совершенствовании имеющегося на вооружении или в создании нового образца, которая диктуется политической ситуацией или нарушением паритета в военной технике, необходимостью увели-

чить эффективность того или иного вида вооружения. Основной процедурой формулирования потребностей и их ранжирования можно назвать прогнозирование, насчитывающее свыше ста методов [23, 24], используемых в отечественной и зарубежной практике, классифицированные по различным основаниям: природе объекта прогнозирования, масштабно-сти, входящим переменным, степени неопределенности. В частности, инженерное прогнозирование базируется в основном на трех универсальных методах: экспертном опросе, экстраполяции и морфологическом анализе.

Обычно не удается быстро найти решение, лучшим образом удовлетворяющее возникшую потребность, что приводит к развернутому во времени, сложному поиску. Однако потребность в новой технике не всегда связана с потребностью в проектировании, поэтому развертывание его целесообразно лишь в случаях, когда подобных объектов не существует или от него нельзя отказаться, а затраты на проектирование, подготовку производства и изготовление минимальны, причем использование нового или усовершенствованного образца приносит желаемый результат. В частности, методика расчета потребности проектирования технического объекта приведена в работе [25], где дан метод расчета коэффициента инженерно-технической значимости проектируемого образца техники.

Информационный поиск может оказаться удачным, когда имеется ясное представление о его цели и основная задача процедуры поиска – распознать в общих чертах будущий образец вооружения и его окружение. Облегчить выполнение этой процедуры может разработка сценариев возможного использования образца в виде краткого описания боевых ситуаций, при которых его использование целесообразно, а также условий транспортировки, хранения, ожидаемого эффекта применения. Одним из вариантов целевого описания может быть составление графа целей с ранжированием их по уровням интересов различных социальных групп, заинтересованных в создании нового образца. После выбора и ранжирования целей можно приступить к постановке задач проектирования, которые формулируются путем наложения на цели проектирования условий ее достижения и границ поиска решения.

Следующая процедура – определение конкретных признаков образца, которые должны быть ему присущи и которое состоит в построении бинарных отношений между элементами множества целей и множества допустимых признаков. Бинарные отношения между целями и признаками можно отразить в виде матрицы соответствия, по которой может быть составлено концептуальное описание, включающее обоснование потребности проектирования, цели и задачи в ранжированной последовательности, признаки образца, соответствующие поставленным целям. Совокупность целевого и концептуального описаний составляет техническое задание на проектирование образца.

После составления технического задания становится возможным переход к следующему этапу проекта – техническому предложению, на котором готовится пакет конструкторской документации с вариантами технического решения и предложением из них наилучшего. На этой стадии выполняются функциональное и структурное описание. Процедура поиска возможных решений может быть сравнима с формированием оперативных моделей в сознании проектировщика. Она в большей степени опирается на творческие начала и выполняется, как правило, неформализованными методами. Достаточно полный перечень методов поиска новых технических решений и их анализ приведен в работе М. Е. Чуса и В. Н. Данченко [26]. Для успешного проектирования необходимыми также являются отраслевые фонды: типовых технических решений, эвристических приемов и физических эффектов, – специально составленные для решения задач проектирования артиллерийского и стрелкового вооружения, в частности, задач уменьшения воздействия выстрела на орудие и его окружение.

При проектировании технических систем полезно обращение к законам развития техники. Назовем наиболее известные из них: соответствие между функцией и структурой; стадийное развитие; прогрессивная эволюция; повышение динамичности; стремление к идеальному решению; увеличение ве-польности системы; переход с макро- на микроуровень (наноуровень); переход в надсистему; гомологические ряды; корреляция параметров; развитие по S-образной кривой; расширения потребительских функций.

Примеры функционального и структурного описаний приводятся, в частности, в работах [27, 28].

Следующей процедурой процесса проектирования является процедура выбора наилучшего решения из найденного многообразия решений. Эта процедура отвечает отображению множества вариантов технического решения на множество оценок и выбор оптимального по набору критериев. Трудности этой процедуры состоят в многомерности свойств каждого из вариантов решения, т. е. отсутствия единой шкалы измерения для оценивания и количественных оценок для большинства признаков. Часто сделать окончательный выбор из ряда конкурирующих конструкций и близких к оптимальному решению позволяет лишь эксперимент с изготовлением опытных образцов.

Наличие описаний: целевого, концептуального, функционального, структурного, – позволяет перейти к следующей стадии проектирования – стадии эскизного проекта, включающего динамическое описание, включающего принципиальное конструктивное решение, компоновку с указанием габаритов и значения основных параметров. При этом может возникнуть задача выбора параметров внутри параллельного ряда известных аналогов изделия. Для выбора значений параметров, не оговоренных стандартом, можно воспользоваться обработкой статистических данных по типовым образцам с экстраполяцией

на предполагаемые изменения со временем. На данном этапе при создании новых образцов эффективно проведение экспериментальных исследований, математического моделирования и нахождение решений задач оптимизации. Компонировка изделия на стадии эскизного проекта выполняется в общем виде, теоретического и габаритного чертежей. Здесь определяется конструкция изделия, взаимодействие его частей, поясняется принцип действия. Результатом этих исследований является, как уже отмечалось, динамическое описание объекта, связывающее показатели и характеристики системы на всех этапах ее «жизненной кривой».

Следующей стадией, согласно процедурной модели проектирования (табл. 1) является стадия – технический проект. Описание на стадии технического проекта должно дать возможность приступить к реализации технических решений, а для этого оно должно быть конструктивным. Следовательно, на этой стадии начинаются процедуры конструирования, предоставляющие необходимые данные для подготовки рабочей документации. Отметим, что уровень качества изделия закладывается уже на ранних, поисковых этапах проектирования, однако лишь на этапе конструирования уровень качества проступает явным образом, но не исключены случаи, при которых хорошие технические решения оказываются нереализованными из-за неудачного воплощения в конструкцию.

При анализе конструктивного исполнения каждой детали, узла, подсистемы изделия может быть использован метод функционально-стоимостного анализа (ФСА) [29–31], позволяющего поднять конкурентную способность образца при наименьших затратах на его изготовление. Неотъемлемым требованием при конструировании является соблюдение стандартов и унификации не только отдельных деталей, но и комплектующих изделий, сборочных единиц и комплексов. Близким к идеальному следует считать конструирование из замкнутых модулей. Модульное конструирование особенно эффективно при использовании компьютеров и программного обеспечения.

В пакет конструкторской документации после завершения стадии технического проекта должны войти документы: чертеж общего вида, пояснительная записка, ведомость технического проекта, теоретический и габаритный чертежи, расчетная схема, технические условия, программа и методика испытаний, патентный формуляр, карты технического уровня и качества продукции. Названные документы позволяют перейти к завершающей стадии проектирования образца – стадии подготовки рабочей документации, т. е. составлению параметрического описания. Подготовленные чертежи рабочей документации несут полную информацию о конструкции образца, позволяют изготовить полный набор деталей изделия с заложенными в него при проектировании свойствами.

В заключение можно указать, что в практике проектирования состав стадий проектирования может

быть различным, т. е. включать иные процедуры и методы решения задач проектирования в зависимости от природы проектируемого продукта, степени его новизны, сроков выполнения проекта, материальных вложений и ряда других факторов. Таким образом, мы приближаемся к созданию алгоритмов проектирования конкретных артефактов, стремясь к наиболее рациональному алгоритму.

К сказанному можно добавить, что приведенные исследования и результаты могут использоваться в образовательном процессе, в частности, при подготовке кадров высшей квалификации [32–34].

Библиографические ссылки

1. *Альбиуллер Г. С.* Творчество как точная наука. – М.: Сов. радио, 1979. – Кибернетика.
2. *Селетков С. Г., Иванова С. С.* Классификация способов уменьшения действия импульса силы отдачи выстрела на носитель оружия // Интеллектуальные системы в производстве. – 2016. – № 1 (28). – С. 39–41.
3. *Селетков С. Г.* Системный подход в повышении качества ствольного оружия // Интеллектуальные системы в производстве. – 2016. – № 2 (29). – С. 52–54.
4. *Хилл П.* Наука и искусство проектирования / пер. с англ. – М.: Мир, 1973.
5. *Asimov V.*, Introduction to design, Prentice – Hall, New York, 1962.
6. *Archer L. B.*, Systematic method for designers, Council of Industrial Design, London, 1965.
7. *Чуев Ю. В.* Проектирование ствольных комплексов. – М.: Машиностроение, 1976.
8. *Быков В. П.* Методическое обеспечение САПР в машиностроении. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1989. – 255 с.
9. *Джонс Дж. К.* Методы проектирования / пер. с англ. – 2-е изд., доп. – М.: Мир, 1986. – 326 с.
10. *Коновалов А. А.* Системное проектирование автоматического оружия // Курс лекций. – Ижевск: ИМИ, 1984. – 270 с.
11. *Ханзен Ф.* Основы общей методики конструирования. – М.: Машиностроение, 1969. – 166 с.
12. *Хилл П.* Указ. соч.
13. *Холл А.* Опыт методологии для системотехники. – М.: Сов. радио, 1978. – 448 с.
14. *Горелик А. Л., Спиркин В. А.* Методы распознавания. – М.: Высш. шк. – 1977. – 222 с.
15. *Ханзен Ф.* Указ. соч.
16. *Хилл П.* Указ. соч.
17. *Быков В. П.* Указ. соч.
18. *Джонс Дж. К.* Указ. соч.
19. *Ханзен Ф.* Указ. соч.
20. *Дворянкин А. М., Половинкин А. И., Соболев А. Н.* Методы синтеза технических решений. – М.: Наука, 1977. – 104 с.
21. Автоматизация поискового конструирования / под ред. А. И. Половинкина. – М.: Радио и связь, 1978. – 448 с.
22. *Быков В. П.* Указ. соч.
23. Автоматизация поискового конструирования / под ред. А. И. Половинкина. – М.: Радио и связь, 1978. – 448 с.
24. *Половинкин А. И.* Основы инженерного творчества: учеб. пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
25. *Быков В. П.* Указ. соч.
26. *Чус А. В., Данченко В. А.* Основы технического творчества: учеб. пособие. – Киев; Донецк: Высш. шк., 1983. – 184 с.

27. Ханзен Ф. Указ. соч.
28. Половинкин А. И. Указ. соч.
29. Карпунин М. Г., Майданчик Б. И. Функционально-стоимостной анализ в отраслевом управлении эффективностью. – М. : Экономика, 1983.
30. Практика проведения функционально-стоимостного анализа в электротехнической промышленности / под ред. М. Г. Карпунина. – М. : Энергоиздат, 1987.
31. Справочник по функционально-стоимостному анализу / А. П. Ковалев, А. К. Моисеева, В. А. Сысун и др. ; под ред. М. Г. Карпунина, Б. И. Майданчика. – М. : Финансы и статистика, 1988. – 431 с.
32. Якимович Б. А., Селетков С. Г. Методология диссертационного исследования как учебная дисциплина // Высшее образование в России. – 2013. – № 12. – С. 99–103.
33. Селетков С. Г., Иванова С. С. О компетенциях диссертантов: магистров, кандидатов и докторов наук // Вестник ИжГТУ. – 2015. – № 1. – С. 139–140.
34. Селетков С. Г. Аспекты повышения результативности в самостоятельной деятельности диссертанта // Вестник ИжГТУ. – 2012. – № 1. – С. 167–170.

S. G. Seletkov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU

The Procedural Model for Designing Technical Systems

The necessity to increase the design efficiency for technical achievements implies development of new ways and methods that allow for organizing the human thinking more reasonably. Transition to new types of design becomes relevant within constantly complicating technical complexes, necessity to increase the operation period of armory up to their moral wear and reduce the design time. Increase in labor intensity when designing barrel arms implies systematization of methods for increasing its efficiency, development of specific design methods including heuristic and program approaches for analysis and synthesis, funds of technical solutions and physical effects, creation of industrial procedural model for the search of technical solutions with assessment of their application efficiency. In the paper the author proposes a logical design scheme, which can be represented by a procedural model implementing a system approach to design and generalizing a number of known works. The procedural model provides a visual representation of the main procedures and operations of design, methods of conducting them, and it points to the necessary sources of information.

Keywords: design, technical systems, barrel arms, procedural model

Получено: 10.05.17