

## **МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ**

УДК 623.4; 658.512

DOI: 10.22213/2413-1172-2021-1-11-18

### **Задачи анализа и синтеза на этапах проектирования систем стрелково-пушечного вооружения**

**С. А. Алексеев**, доктор технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*Системный подход при проектировании стрелково-пушечного вооружения реализуется путем решения в различных сочетаниях задач анализа и синтеза на разных стадиях и этапах проектирования. В процессе проектирования происходит постоянная детализация описания объекта. По принципу иерархии системного подхода решаемые задачи и применяемые при этом модели и критерии тоже имеют многоуровневый характер и различны на конкретных этапах проектирования. Рассмотрены вопросы постановки и реализации различных типовых задач синтеза и анализа технических систем при исследовании и проектировании образцов стрелково-пушечного вооружения на примере проектирования механизма автоматики стрелкового оружия. На примере проектирования бокового газового двигателя показано, что выбор частного критерия проектирования подсистемы может привести к ухудшению функционирования системы в целом.*

*В результате анализа последовательности и содержания этапов разработки образца предложена структурная схема выполнения системных исследований при разработке новых схем автоматического оружия или его основных механизмов. Такая схема, включающая методы исследования и виды моделей на различных этапах проектирования, будет полезна исследователям и проектировщикам, не имеющим достаточного опыта работы.*

**Ключевые слова:** проектирование, стрелковое оружие, техническая система, иерархическая структура, функционально-структурный анализ, синтез.

#### **Введение**

**О**сновы методологии системного проектирования ствольного и ракетного оружия заложены в трудах известных ученых-оружейников Ю. В. Чуева, А. Г. Шипунова, В. П. Строгалева, Б. К. Новикова, А. В. Белова, А. А. Коновалова, В. В. Алферова и др. Последовательность проведения проектных работ с точки зрения данной методологии представляет собой чередование решения задач анализа и синтеза. Математическое обеспечение процесса решения этих задач составляют разнообразные модели технических систем и алгоритмы решения прямых, обратных и оптимизационных задач. Вопросы разработки математических методов и алгоритмов решения этих задач не рассматриваются в данной работе и относятся к области теории оптимальности и принятия решений.

**Целью работы** является рассмотрение особенностей задач анализа и синтеза при проектировании систем стрелкового оружия и установление взаимосвязи видов задач анализа и синте-

за с видами моделей системы для различных этапов разработки системы.

Основными методами исследований при выполнении проектных работ являются системный анализ и системный синтез.

«Если назначением системного анализа является изучение объекта (ситуации) как нечто данного, то системный синтез должен организовать поиск объекта (решения), наилучшим образом удовлетворяющего требованиям конкретной ситуации. Собственно системный синтез – основа тех или иных эвристических методов» [1].

Если систему представить в обобщенном виде, то формально она может быть описана в виде трех компонентов – *элемента*, имеющего *вход* и *выход*. В этой тройке *элемент* определяет структуру и внутренние взаимосвязи системы, *вход* – входные воздействия на систему, а *выход* – выходные воздействия со стороны системы. Наиболее часто рассматриваемые при проектировании задачи определяются как получение одного из этих трех неизвестного при двух известных. В соответствии с этим различают:

– задачу *анализа*, при решении которой известен вход и идентифицирован элемент, а определению подлежит выход, такая задача называется прямой и сводится к реализации вычислительных процедур с использованием математического описания системы;

– задачу *структурного синтеза* при проектировании с известными входом и выходом и необходимостью идентификации элемента (определения описания системы);

– задачу нахождения компонентов входа по известным величинам выхода и описанию элемента, такая задача называется обратной и относится к классу задач *параметрического синтеза* в процессе проектирования технической системы.

На стадиях процесса проектирования можно выделить три основные задачи синтеза [2, 3]:

– синтез принципов действия (СПД), включающий перебор возможных способов преобразования энергии в системе и в соответствующих подсистемах, анализ и отбор вариантов, в принципе реализующих требования технического задания;

– синтез структуры (СС), включающий анализ и отбор функционально-структурных схем для используемых принципов действия;

– синтез параметров (СП), включающий поиск системы оптимальных параметров, обеспечивающих для конкретного принципа действия и структуры системы реализацию требований технического задания на количественном уровне.

Возможности строгой формализации перечисленных задач в настоящее время существенно различаются. Если параметрический синтез может быть формализован в значительной степени, то структурный поддается формализации частично, а синтез принципов действия является системой эвристических процедур. Задача *синтеза структуры* системы должна рассматриваться в первую очередь при реализации метода структурно-параметрического синтеза для реализации процесса проектирования систем.

Решение задач анализа и синтеза ведется с использованием различных видов моделей. Целью проектирования, указывается в работе [4], является «разработка модели продукции оптимального качества», а сам процесс проектирования (за исключением работы, связанной с оформлением технической документации) определяется, как «процесс накопления недостающих знаний о проектируемом объекте. Чем выше уровень начальных знаний о проектируемой продукции, тем успешнее будет протекать

сам процесс проектирования». На разных стадиях разработки образца вооружения должны использоваться виды моделей различной сложности и точности. Вопросы последовательности и содержания проектных работ при создании систем вооружения рассмотрены в работах [5–7].

Образцы ствольного оружия относятся к сложным техническим системам с иерархической структурой. Многоуровневый характер процесса их проектирования, при котором происходит постепенная детализация информационного описания создаваемой системы, приводит к многоуровневому характеру задач анализа и синтеза и моделей, используемых для решения этих задач

### **Схема процесса проектирования механизмов автоматического оружия**

*Задачи, решаемые при проектировании механизмов оружия.* Рассмотрим подробнее решение перечисленных задач при проектировании образца автоматического или самозарядного оружия. Отличительным признаком функциональной и морфологической структуры такого оружия, которые приводятся в работе [8], является наличие подсистемы механизма автоматике, функция которого – осуществление автоматического перезаряжания оружия. Энергию для работы механизма перезаряжания обеспечивает двигатель автоматике. Современная классификация двигателей автоматике приведена в работах [9, 10]. Принцип действия автоматике большинства систем стрелково-пушечного вооружения основан на использовании энергии выстрела, основными разновидностями которого являются использование энергии отводимых из ствола пороховых газов и энергии отдачи оружия и его основных частей – затвора и ствола.

В качестве примера исследования подсистемы приведем механизм автоматике с боковым газоотводным двигателем (БГД), использующим энергию пороховых газов, отводимых через отверстие в стенке ствола (рис. 1). Современная теория расчета таких двигателей изложена в работах [11–13]. Механизм включает в себя следующие подсистемы: подвижные части автоматике с возвратным механизмом 1, боковой газоотводный двигатель, содержащий поршень со штоком 2 и газовую камеру 3, а также ствол 4. На рисунке указаны основные конструктивные параметры двигателя, определяющие его энергию, – диаметр газоотводного отверстия, угол наклона отверстия, диаметр поршня, диаметр цилиндра, длина начального свободного объема камеры, путь поршня до сбросового отверстия и его площадь  $S_c$ .

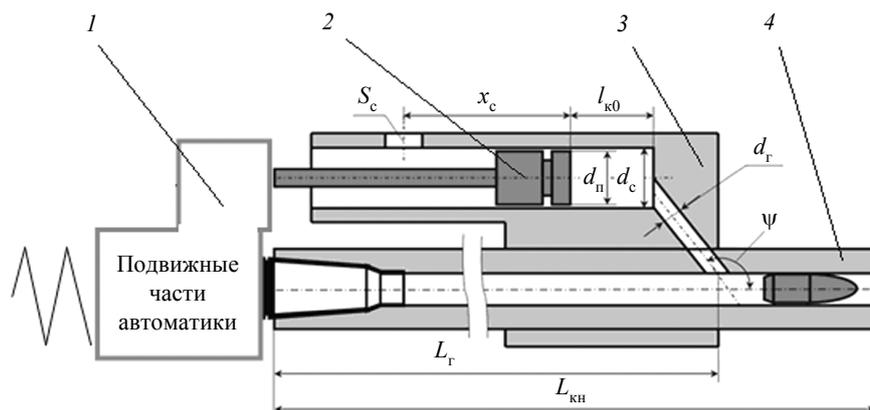


Рис. 1. Схема автомата с отводом порохового газа через боковое отверстие в стенке ствола:  $d_r$  – диаметр газотводного отверстия;  $\psi$  – угол наклона отверстия;  $d_п$  – диаметр поршня;  $d_ц$  – диаметр цилиндра;  $l_{к0}$  – длина начального свободного объема камеры;  $x_c$  – путь поршня до сбросового отверстия и его площадь  $S_c$ ;  $L_{кн}$  – длина ствола;  $L_r$  – расстояние до газотводного отверстия

Кроме этих параметров энергия двигателя  $E_{дв}$  определяется внешними условиями – типом патрона, длиной ствола и расстоянием до газотводного отверстия.

Целевой функцией двигателя автоматики, как показывает проведенный функционально-структурный анализ, является обеспечение надежности работы механизма перезарядки, а основными функциями – обеспечение энергетической надежности и стабильности работы автоматики при стрельбе в различных условиях эксплуатации.

Задача анализа сводится к последовательно-му вычислению скорости и кинетической энергии подвижных частей в момент конца работы двигателя, и далее – определению скорости и энергии подвижных частей в крайнем заднем положении (КЗП) при откате. По запасу кинетической энергии подвижных частей в КЗП оценивают энергетическую надежность работы автоматики. Стабильность работы автоматики определяется стабильностью параметров (давления, скорости и температуры) газопороховой смеси в стволе в месте расположения газотводного отверстия и конструкцией газотводного двигателя.

*Задача анализа*, называемая также прямой задачей расчета функционирования, предполагает, что известны условия функционирования и внешнее воздействие на систему (параметры газопороховой смеси в стволе в месте расположения газотводного отверстия), а также определена сама система (схема и конструктивные параметры газотводного двигателя; приведенная масса подвижных частей и приведенная сила сопротивления перемещению их при откате),

т. е. может быть построена математическая модель функционирования системы и, следовательно, может быть определено ее поведение: перемещение и скорость подвижных частей.

При анализе возможно использование математической модели избыточной информативности, определяющей выходные характеристики системы, которые не представляют интереса в исследуемом процессе, например, параметры газа в камере двигателя, количество несгоревшего пороха и др. Рассмотренное определение задачи анализа является упрощенным. Учитывая, что характеристики процесса выстрела являются случайными величинами, задача может решаться в вероятностно-статистической постановке. Тогда задача анализа может быть представлена как задача определения характеристик распределения выходных параметров (скорости подвижных частей) при известных законах распределения входных параметров системы (условий заряжания выстрела и динамических параметров подвижных частей). Решение такой задачи позволяет оценить стабильность работы автоматики.

*Задача синтеза*, или задача проектирования, в общем случае предполагает, что известны условия функционирования и внешнее воздействие на систему, требуется определить структуру и параметры системы, которые обеспечивают требуемое ее поведение. Эта общая задача синтеза разделяется на ряд типов. Если известны принцип действия системы и ее структура (состав подсистем, т. е. конкретные схемные реализации ее элементов), и требуется определить только параметры отдельных элементов, то задача синтеза определяется как задача парамет-

рического синтеза системы (синтеза параметров). Для рассматриваемого примера в систему включаем газоотводный двигатель и подвижные части автоматики, а ствол и ствольную коробку относим к окружающей среде. При этом входом системы является подводимый к газоотводному отверстию импульс давления пороховых газов, а выходом – кинетическая энергия поршня и подвижных частей в конце работы двигателя. Эта задача проектирования БГД представляет собой обратную задачу расчета, состоящую в определении конструктивных параметров в зависимости от потребных выходных характеристик (кинетической энергии подвижных частей) и заданных массовых и силовых характеристик механизмов автоматики, а также баллистических параметров выстрела. Такая задача имеет многовариантное решение ввиду гораздо большего числа определяющих параметров относительно выходных. При этом конструктору следует опираться на накопленный опыт проектирования БГД.

*Задача структурного синтеза* системы состоит в определении набора элементов и взаимосвязей между ними при известном принципе действия системы и возможном множестве реализаций ее элементов (типов элементов). Поскольку только структура системы не может определить значения выходных характеристик, для каждой структуры требуется проводить также синтез параметров. Объединение этих процессов (синтеза структуры и параметров) формулирует *задачу структурно-параметрического синтеза*. Так, если в качестве принципа действия рассматривать использование энергии пороховых газов, отводимых через отверстие в стенке ствола, то возможными разнообразными вариантами структуры системы боковых газовых двигателей могут быть двигатели открытого или закрытого типа, с движением поршня вперед или назад, длинным или коротким ходом поршня, однокамерные или многокамерные и др. [14]. При проведении структурно-параметрического анализа, который включает в себя множество решаемых обратных (или прямых) задач для каждой структуры двигателя, для снижения затрат машинного времени можно использовать приближенный аналитический метод проф. Мамонтова [15], взяв за критерий импульс силы давления пороховых газов на поршень за время работы двигателя.

И наконец, если принцип действия рассматривать шире, – как использование энергии пороховых газов выстрела при их отводе из ствола – то в качестве возможных реализаций систем

можно принять отвод газов через дульную часть ствола либо через дно гильзы через капсюльное гнездо. При этом структура систем и набор элементов будут различны при общем принципе действия.

Кроме газоотводного принципа действия в автоматическом оружии для сообщения энергии подвижным частям широко применяется принцип использования энергии отдачи оружия и его частей при выстреле. Выбор из множества вариантов преобразования энергии в системе (различных типов двигателей автоматики), приводящих к реализации выходных характеристик (сообщения необходимой кинетической энергии подвижным частям) определяется как *задача синтеза принципов действия*.

Как и в классе задач анализа, каждая задача синтеза допускает вероятностно-статистическую постановку. В отличие от анализа задача синтеза не всегда имеет однозначное решение – возможно получение двух или более различных систем, которые обеспечивают в данных условиях реализацию требуемого поведения системы. Естественно, эти системы могут иметь и существенные отличия (разные принципы действия, сложность и т. д.). Для сокращения числа альтернативных вариантов в формулировку задачи синтеза вводится еще одна характеристика, определяемая как функция (или критерий) качества. Она позволяет сравнивать варианты решений и отбирать альтернативы. В частном случае функция качества определяется как степень совпадения выходных характеристик системы с их потребными значениями.

К классу обратных задач проектирования относится и задача определения области использования системы, когда известна сама система и требуемые результаты ее функционирования, и необходимо определить те внешние условия, при которых функционирование системы удовлетворяет заданным требованиям. В рассматриваемом случае изменение внешних условий для получения необходимой энергии подвижных частей можно провести за счет изменения места расположения газоотводного отверстия по длине ствола либо изменением характеристик боеприпаса.

Функцию качества (частный критерий) при исследовании какой-либо подсистемы конкретного уровня нужно назначать с учетом критерия высшего уровня. Взаимозависимость всех процессов в системе приводит к тому, что достижение высокого качества функционирования всей системы существенно более важно, чем обеспечение оптимального функционирования ее час-

тей. Несмотря на то, что любая сложная система может быть расчленена на отдельные подсистемы, функционирование подсистем должно быть подчинено целям, стоящим перед системой в целом. Нельзя спроектировать оптимальную систему путем оптимизации отдельных ее подсистем без учета задач и критериев качества системы в целом.

Для рассмотренного выше в качестве примера подсистемы БГД показателем качества может служить энергия двигателя за период его работы. С точки зрения увеличения энергии газоотводное отверстие следует располагать ближе к казенной части ствола, однако это приводит к нестабильности работы двигателя вследствие большой части несгоревшего пороха, который попадает в газовую камеру в период работы двигателя и больших разбросов величины давления в этих сечениях ствола от выстрела к выстрелу. При расположении отверстия ближе к дульному срезу работа двигателя более стабильна, но вызывает большие колебания дульной части ствола. Величина амплитуд колебаний, по экспериментальным исследованиям, приведенным в работе Никонова Г. Н. [16], сравнима с колебаниями ствола, вызываемых работой дульного тормоза, и составляет до 60...70 % от амплитуды колебаний ствола, вызванных ударом подвижных частей о ствольную коробку в конце отката. Большие поперечные колебания дульной части ствола приведут к ухудшению кучности стрельбы и, как следствие, снижению показателя боевой эффективности оружия.

Таким образом, попытка оптимизировать подсистему по какому-то частному показателю качества, величине энергии двигателя или стабильности работы может привести не к улучшению характеристик системы в целом, а наоборот, вызвать их ухудшение.

В ранее указанных работах по расчету БГД рекомендуется располагать газоотводное отверстие на расстоянии 0,5...0,75 полной длины ствола, отсчитывая от казенного среза, что и соблюдается в большинстве существующих образцов стрелкового оружия.

На всех стадиях и этапах проектирования присутствуют три метода синтеза: синтез принципов действия, синтез структуры и синтез параметров. Многоуровневый характер процесса проектирования, при котором происходит постепенная детализация информационного описания создаваемой системы, приводит к многоуровневому характеру используемых для анализа и синтеза математических моделей.

В процессе проектирования используются модели различных уровней (различной сложности, точности и быстродействия), описывающие объекты и процессы качественно или количественно. При формировании технического задания и на ранних стадиях проектирования это могут быть статистические, логические, аналитические, вторичные и аппроксимационные виды моделей. На стадии эскизного и технического проектирования используются физические, сложные математические и имитационные модели.

Анализируя выполненные научные исследования по разработке новых конструктивных схем автоматического оружия и исполнительных механизмов, можно составить типовую структурную схему проведения таких работ, включающих методы исследований и виды моделей на различных этапах проектирования, представленную ниже в виде таблицы.

Последовательность проведения проектных работ с точки зрения системного подхода представляет собой чередование решения задач анализа и синтеза. Для решения задач синтеза используются упрощенные модели и быстрые алгоритмы решения обратных и оптимизационных задач. Для решения прямых задач анализа, которые по сложности уступают задачам оптимизации, можно использовать максимально полные и точные модели. В указанных в ссылках научных работах по системному проектированию приводятся различные блок-схемы системного подхода к проектированию, и все они включают перед принятием решения по выбору окончательного варианта проведение анализа для подтверждения достоверности полученных ранее проектных решений. Применяемые для этого точные модели позволяют уточнить значения параметров, определенных на более простых моделях при параметрическом синтезе, поэтому такой анализ можно назвать параметрическим [17, 18].

На этапах разработки технического задания и технического предложения используются статистические, простые аналитические и аппроксимационные модели, а также методы прогнозирования.

На этапе эскизного проектирования уточняются характеристики основных подсистем. Таким образом, на стадии эскизного проектирования производится параллельная переработка частных технических заданий на проектирование подсистем (узлов и агрегатов) в сумму совокупностей технических заданий на проектирование подузлов и деталей. Естественно, при этом должны использоваться математические

модели, более строго описывающие функционирование отдельных частей системы.

На этапе технического проектирования глубина проработки достигает уровня элементов, составляющих подсистемы образца. На этом этапе при проведении параметрического синтеза используются сложные математические модели, содержащие уравнения в сосредоточен-

ных и распределенных параметрах. На этом же этапе происходит отработка и оценка опытных образцов с целью сравнительной проверки заданных тактико-технических характеристик (ТТХ) и фактически реализуемых. На основании результатов испытаний вносятся необходимые изменения в конструкцию проектируемого комплекса.

### Структурная схема исследований при проектировании

Этапы проектирования	Методы исследований (погрешность метода, менее %)	Задачи исследований	Применяемые модели	Результаты исследований
Техническое задание (ТЗ)	Анализ принципов действия; функционально-структурный анализ (20)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ ТТХ систем прототипов.</li> <li>2. Выбор критерия эффективности и ранжирование ТТХ, определяющих боевую эффективность.</li> <li>3. Определение облика оружия и боеприпаса</li> </ol>	Классификации на основе функционально-структурного анализа; структурные схемы; экспертно-прогнозирующие модели; статистические модели; имитационные модели боя	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Тактико-технические и конструктивные характеристики проектируемого образца и боеприпаса.</li> <li>2. Область использования</li> </ol>
Техническое предложение	Анализ принципов действия; функционально-структурный анализ (20); синтез принципов действия (20); структурный синтез (20); параметрический синтез (10)  Параметрический анализ (5)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ конструкций систем прототипов.</li> <li>2. Поиск новых конструктивных путей обеспечения требований ТЗ.</li> <li>3. Параметрическая оптимизация новых конструкций.</li> <li>4. Принятие решений.</li> <li>5. Оценка достоверности выбранного проектного решения</li> </ol>	Статистические; аппроксимационные; аналитические; использование законов механики  Точные и полные имитационные модели	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Схема компоновки оружия.</li> <li>2. Схемы основных механизмов оружия.</li> <li>3. Частные технические задания на разработку подсистем (механизмов и узлов).</li> <li>4. Выбор окончательного варианта конструкции</li> </ol>
Эскизный проект	Структурный синтез (10); параметрический синтез (5). Лабораторные испытания макетов механизмов оружия	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проведение внутриваллистических, газодинамических, кинематических и динамических расчетов механизмов оружия.</li> <li>2. Компоновка всех механизмов. Выполнение чертежа общего вида</li> </ol>	Математические модели в виде дифференциальных уравнений в сосредоточенных параметрах; в распределенных параметрах; графические модели; физические модели	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Рекомендации по выбору рациональных конструктивных параметров схем.</li> <li>2. Частные технические задания на разработку</li> </ol>
Технический проект	Структурный синтез (5); параметрический синтез (5). Натурные испытания опытных образцов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработка технической документации для создания опытных образцов.</li> <li>2. Изготовление, отработка и испытания опытных образцов</li> </ol>	Имитационные математические модели функционирования системы. Физические модели	Корректировка технической документации по результатам испытаний

Таким образом, стадии проектирования являются взаимосвязанной последовательностью этапов и операций, при выполнении которых происходит постепенная детализация разрабатываемой системы и применяется усложняемое и детализируемое математическое описание процессов. Иерархичность стадий и этапов проектирования предполагает, что в строгой постановке задача оптимизации возможна только на стадиях разработки технического задания и технического предложения. Все остальные этапы проектирования должны проводиться в соответствии с требованиями технических заданий на систему и ее подсистемы.

### Заключение

В процессе разработки обычно решается весь комплекс задач – анализ принципов действия, функционально-структурный анализ, синтез принципов действия, структурный и параметрический синтез – с последующим использованием методов параметрического анализа для оценки достоверности результатов, полученных на предыдущих циклах исследования.

Удельный вес использования методов исследования по мере углубления проектирования смещается от синтеза принципов действия, который занимает существенное место при разработке технического предложения, к параметрическому синтезу, основному при техническом проектировании.

На примере исследования автоматики оружия газоотводного типа показаны постановка и решение типовых задач анализа и синтеза.

Предложена структурная схема проектирования образца стрелкового оружия, которая для каждого этапа проектирования определяет задачи и ожидаемые результаты исследования. Указаны применяемые для решения этих задач методы анализа и синтеза, а также вид используемых математических и иных моделей системы. Дана оценка погрешности методов.

### Библиографические ссылки

1. Коновалов А. А., Николаев Ю. В., Вершинин Н. Н. Методология проектирования технических систем. В 2 ч. Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. Ч. 1. Изобретательство и функционально-стоимостный анализ. 420 с.
2. Стрोगалев В. П., Толкачева И. О., Товарнов М. С. Проектирование и имитационное моделирование объектов вооружения // *Аэрокосмический научный журнал*. 2015. № 06. С. 1–12.
3. Белов А. В., Вященко Ю. Л., Васин В. Л. Системные принципы проектирования автоматических установок. Л. : Изд-во ЛМИ, 1984. 72 с.

4. Коновалов А. А., Николаев Ю. В. Методология проектирования технических систем. В 2 ч. Ижевск : ИПМ УрО РАН, 2009. Ч. 2. От проекта до объекта. 319 с.

5. Селетков С. Г. Системный подход в повышении качества ствольного оружия // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2016. № 2 (29). С. 52–54.

6. Селетков С. Г. Процедурная модель проектирования технических систем // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2017. № 2. С. 55–59.

7. Стариков Н. Е., Вязников А. Ю., Борисова А. Ю. Формализация постановки задачи структурного и параметрического синтеза двухсредного стрелкового оружия // *Известия ТулГУ. Технические науки*. 2015. Вып. 12. Ч. 1.

8. Алексеев С. А. Системные методы исследования конструкций стрелкового оружия // *Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова*. 2020. Т. 23, № 3. С. 5–14. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-23-3-5-14.

9. Власов В. А. Устройство автоматических машин (в схемах). Тула : Изд-во ТулГУ, 2011. 205 с.

10. Алексеев С. А., Драгунов М. Е. О двигателях автоматики и других понятиях теории автоматического оружия // *Вопросы оборонной техники*. Серия 4. 2019. Вып. 1 (185). С. 48–55.

11. Кулагин В. И., Черезов В. И. Газодинамика автоматического оружия. М. : ЦНИИИТИ, 1985. 256 с.

12. Лебединец А. Н. Проектирование и расчет газовых двигателей автоматического оружия. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2006. 52 с. : ил.

13. Платонов Ю. П. Термогазодинамика автоматического оружия. М. : *Машиностроение*, 2009. 356 с. : ил.

14. Лебединец А. Н. Конструкции и компоновочные особенности газовых двигателей автоматического оружия. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2006. 40 с.

15. Мамонтов М. А. Некоторые случаи течения газа по трубам, насадкам и проточным сосудам. М. : *ОБОРОНГИЗ*, 1951. 494 с.

16. Никонов Г. Н. Автомат Никонова АН-94. Ижевск, 1999.

17. Системный подход к методологии проектирования / Б. К. Новиков, А. Ю. Кулагин, В. С. Суляев [и др.] // *Научно-технический прогресс в машиностроении и приборостроении*. М. : Изд-во МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1980. С. 5.

18. Алексеев С. А. Системный подход к проектированию стрелково-пушечного вооружения // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2018. Т. 16, № 4. С. 4–10.

### References

1. Konovalov A.A., Nikolaev Yu.V., Verшинin N.N. *Izobretatelstvo i funktsionalno-stoimostnyy analiz* [Invention and functionally-cost analysis]. Penza, Penzenskii gos. universitet Publ., 2004, 420 p. (in Russ.).
2. Strogalev V.P., Tolkacheva I.O., Tovarnov M.S. [Design and Simulation of Weapon Objects]. *Aerospace*

*Scientific J. of the Bauman MSTU*, 2015, no. 06, pp. 1-12 (in Russ.).

3. Belov A.V., Vyaschenko Yu.L., Vasin V.L. *Sistemnyye printsipyi proektirovaniya avtomaticheskikh ustanovok* [System principles of planning of self-firer]. Leningrad, leningradskii mekh. Institute Publ., 1984, 72 p. (in Russ.).

4. Konovalov A.A., Nikolaev Yu.V. *Ot proekta do ob'ekta* [From a project to the object]. Izhevsk, IPM UrO RAN, 2009, 319 p. (in Russ.).

5. Seletkov S.G. [Approach of systems in upgrading of barrel weapon]. *Intellektualnyye sistemyi v proizvodstve*, 2016, no. 2, pp. 52-54 (in Russ.).

6. Seletkov S.G. [The procedural model for designing technical systems]. *Intellektualnyye sistemyi v proizvodstve*, 2017, no. 2, pp. 55-59 (in Russ.).

7. Starikov N.E., Vyaznikov A.Yu., Borisova A.Yu. [Formalization of raising of task of structural and self-reactance synthesis of two environments of small-arms]. *Izvestiya TulGU. Tehnicheskie nauki*, 2015, vol. 12, ch. 1 (in Russ.).

8. Alekseev S.A. [Sistem methods of research of constructions small-arms]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2020, vol. 23, no. 3, pp. 5-14 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2020-23-3-5-14.

9. Vlasov V.A. *Ustroystvo avtomaticheskikh mashin (v shemah)* [Device of automatic machines (in charts)]. Tula, TulGU Publ., 2011, 205 p. (in Russ.).

10. Alekseev S.A., Dragunov M.E. [About the engines of automation and other concepts of theory of self-firer]. *Voprosyi oboronnoy tekhniki*, seriya 4, 2019, vol. 1, pp. 48-55 (in Russ.).

11. Kulagin V.I., Cherezov V.I. *Gazodinamika avtomaticheskogo oruzhiya* [Gas dynamics of self-firer]. Moscow, TsNIINTI Publ., 1985, 256 p. (in Russ.).

12. Lebedinets A.N. *Proektirovanie i raschet gazovyih dvigateley avtomaticheskogo oruzhiya* [Planning and calculation of gas engines of self-firer]. Moscow, MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2006, 52 p. (in Russ.).

13. Platonov Yu.P. *Termogazodinamika avtomaticheskogo oruzhiya* [Thermogasodynamics of self-firer]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2009, 356 p. (in Russ.).

14. Lebedinets A.N. *Konstruktivnyye i komponovochnyye osobennosti gazovyih dvigateley avtomaticheskogo oruzhiya* [Constructions and layout features of gas engines of self-firer]. Moscow, MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2006, 40 p. (in Russ.).

15. Mamontov M.A. *Nekotorye sluchai techeniya gaza po trubam, nasadkam i protochnym sosudam* [Some cases of flow of gas on pipes, attachments and running vessels]. Moscow, Oborongiz Publ., 1951, 494 p. (in Russ.).

16. Nikonov G.N. *Avtomat Nikonova AN-94* [Automat of Nikonova AN-94]. Izhevsk, 1999.

17. Novikov B.K., Kulagin A.Yu., Suslyayev V.S. *Sistemnyy podhod k metodologii proektirovaniya* [Approach of the systems to methodology of planning]. Nauchno-tehnicheskiy progress v mashinostroenii i priborostroenii. Moscow, MVTU im. N.E. Bauman Publ., 1980, p. 5 (in Russ.).

18. Alekseev S.A. [A systematic approach to the design of small arms and cannon weapons]. *Intellektualnyye sistemyi v proizvodstve*, 2018, vol. 16, no. 4, pp. 4-10 (in Russ.).

## Tasks of Analysis and Synthesis at the Stages of Designing Systems of Shoot-Cannon Weapons

S.A. Alekseev, DSc in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*A systematic approach to design is implemented by solving problems of analysis and synthesis at different stages and steps of design in various combinations. In the design process, there is a constant detailing of the object description. Following the principle of a hierarchy of a systematic approach, the tasks to be solved and the models and criteria used in this case also have a multilevel character and are different at specific design stages. The problems of the formulation and implementation of various typical tasks of the synthesis and analysis of technical systems in the study and design of samples of small arms and cannons are examined using the design of the automation mechanism of small arms as an example. On the example of designing a side gas engine, it is shown that the choice of a particular design criterion for designing a subsystem can lead to deterioration in the functioning of the system as a whole.*

*As a result of the analysis of the sequence and content of the stages of development of the sample, a structural diagram of implementation of system studies in the development of new schemes of automatic weapons or its main mechanisms is proposed. Such a scheme, including research methods and types of models at various stages of design, will be useful to researchers and designers who do not have sufficient work experience.*

**Keywords:** design, small arms, technical system, hierarchical structure, functional structural analysis, synthesis.

Получено 15.06.2020

### Образец цитирования

Алексеев С. А. Задачи анализа и синтеза на этапах проектирования систем стрелково-пушечного вооружения // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 1. С. 11–18. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-1-11-18.

### For Citation

Alekseev S.A. [Tasks of Analysis and Synthesis at the Stages of Designing Systems of Shoot-Cannon Weapons]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2021, vol. 24, no. 1, pp. 11-18 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2021-1-11-18.