электронный научно-технический журнал
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51036. ISSN 2307-0595

Особенности автоматизированного проектирования датчиков цели взрывательных устройств

05, май 2015

Козлов В. И.[1,*]

УДК: 623.451.741 (075.8)

[1]Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
*vkozlov38@yandex.ru

Введение

Актуальность рассматриваемой проблемы заключается в том, что на момент публикации статьи в периодической литературе практически отсутствуют данные по этому вопросу.

Имеющиеся материалы по проектированию датчиков общетехнического назначения в силу специфики конструкции и функционирования датчиков специального не применимы из-за отсутствия между отдельными этапами проектировании чётких разграничений. В то же время для создания объективных (проектирующих) подсистем САПР требуется выделить их и сгруппировать все задачи проектирования с учётом взаимной связи между ними. Поэтому для автоматизированных форм проектирования более предпочтительной является такая последовательность этапов, которая отражает характер решаемых задач на каждом достаточно автономном этапе.

В этом смысле процессы проектирования многих технических изделия можно разбить на три укрупнённых автономных этапа проектирования: 1)структурно-параметрическое проектирования, 2) функционально-параметрическое проектирование, 3) конструктурско-параметрическое проектирование.

Этапы автоматизированного проектирования ДЦ ВУ имеет ряд принципиальных различий от рассмотренных, что связано с их конструктивными особенностями и спецификой эксплуатации. Эти отмеченные особенности ДЦ как объекта проектирования накладывают определённый отпечаток на вышеизложенные уровни автоматизированного проектирования.

В статье рассмотрены и проанализированы следующие разделы.

В первом разделе рассмотрены существующие этапы проектирования технических изделий и оценена их возможность использования при автоматизированном проектировании.

Во втором разделе проанализированы отмеченные выше этапы автоматизированного проектирования и оценена возможность их применения для САПР ДЦ ВУ с учётом их конструктивных особенностей и специфики эксплуатации.

В третьем разделе проанализированы проектирующие подсистемы САПР ДЦ ВУ и отмечены их особенности.

Раздел 1. Анализ стандартных этапов проектирования изделий и их оценка

Как известно, стандартные этапы проектирования взрывательных устройств (ВУ) включают: техническое задание, техническое предложение, эскизное проектирование, техническое проектирование и рабочее проектирование [1,2].

Рассмотрим назначение и особенности каждого из этих этапов.

Техническое задание (ТЗ) определяет назначение объекта проектирования, его основные тактико-технические данные и технико-экономические требования. ТЗ составляется заказчиком, который обычно привлекает к этому также разработчика, а иногда и соисполнителей. Исходной информацией для составления ТЗ являются: данные об аналогах и прототипах объекта проектирования; научные показатели, достигнутые в мировой практике; технологические возможности реализации и т.д. Очевидно, что отмеченная информация ограничена. В связи с этим содержание ТЗ определяется приближенно и может уточняться и корректироваться при выполнении следующих этапов проектирования ВУ.

Техническое предложение (ТП) формулируется на основе ТЗ разработчиком в тесном взаимодействии с заказчиком. Типовое ТП углубляет содержание отдельных разделов ТЗ, а также включает новые разделы по описанию и анализу возможных вариантов ВУ, обоснованному выбору рациональных вариантов. ТП рассматривается и утверждается заказчиком. В связи с этим остальные этапы проектирования выполняются самостоятельно разработчиком без оперативного участия заказчика. На этапе ТП продолжается дальнейшая детализация ВУ вплоть до принятия решений по его конструктивному исполнению. Для выбранного конструктивного варианта ВУ выполняются наиболее точные расчетные и экспериментальные исследования характеристик и параметров изделия. Расчетно-экспериментальным путем проверяется выполнение всех требований ТЗ. При разработке ТП много внимания уделяется не только конструированию, но и вопросам технологии производства и эксплуатации ВУ. С учетом конструкторско-технологических и эксплуатационных решений производится уточнение оценки экономической эффективности изделия.

Эскизное проектирование (ЭП) является тем этапом, на котором начинается детализация объекта проектирования. На этом этапе уточняются и корректируются отдельные положения ТЗ и ТП, а также осуществляется окончательный выбор рационального варианта объекта проектирования. При этом наряду с расчетными работами могут создаваться и испытываться макеты объекта проектирования.

Этап *рабочего проектирования (РП)* является завершающим для окончательного принятия всех проектных решений. На этом этапе выбирают все технологические процессы по изготовлению отдельных узлов и всего ВУ. На основании окончательных решений по технологии производства вносят уточнения в конструктивные оформления объекта. Большое место в РП занимает оформление полной проектной документации, необходимой для производства, монтажа и эксплуатации объекта проектирования. В проектную документацию кроме ТЗ входят: пояснительная записка по описанию изделия, его узлов и деталей; конструкторские чертежи; принципиальные и монтажные схемы; технологические карты; рисунки и таблицы данных и т.д. РП представляется на утверждение заказчику, после чего он является основанием для дальнейшего проектирование (производства и эксплуатации).

Анализ стандартных этапов проектирования показывает, что между ними нет четких разграничений. Работы, начатые на предыдущих этапах, продолжаются и развиваются на последующих этапах. Некоторые этапы могут быть исключены, или, наоборот, добавлены. Например, иногда принципиальные проектные решения ясны уже при составлении ТЗ. Тогда исключается этап ТП, а нередко и этап ЭП, а обязательные работы этих этапов выполняются на последующих этапах ТП и РП. Наоборот, если возможен ряд принципиально различных проектных решений, то нередко составлению ТЗ предшествует этап предпроектных исследований, на которых отбираются варианты для дальнейшего рассмотрения в процессе проектирования.

Раздел 2. Этапы автоматизированного проектирования ДЦ ВУ

Проведенный выше анализ показывает, что независимость стандартных этапов проектирования относительно объектов проектирования не позволяет четко разграничить задачи, решаемые на отдельных этапах. В то же время для создания объектных (проектирующих) подсистем САПР требуется выделить и сгруппировать все задачи проектирования с учетом взаимных связей между ними. Поэтому для автоматизированных форм проектирования более предпочтительной является такая последовательность этапов, которая отражает характер решаемых задач на каждом автономном этапе. В этом случае процессы проектирования ВУ можно разбить на три эксплуатационных автономных этапа (уровня) проектирования: структурно-параметрическое проектирование, функционально-параметрическое проектирование и конструкторско-технологическое проектирование. [3, 8]

На уровне *структурно-параметрического проектирования* решаются задачи, связанные с выбором принципиальных технических решений, которые определяют общую структуру объекта проектирования и основные параметры, отражающие связи с другими техническими устройствами и системами, а также условия их функционирования в окружающей среде. При сопоставлении со стандартным процессом проектирования можно отметить, что задачи структурно- параметрического проектирования охватить этапы ТЗ, ТП и частично ЭП. Учитывая специфику задач структурно-параметрического проектирова-

ния, этот уровень очень часто называют этапом внешнего проектирования. В результате решения задач этого уровня выбирают наиболее рациональный вариант для более детального рассмотрения на следующих уровнях проектирования.

На уровне *функционально-параметрического проектирования* решают задачи, связанные с выбором функциональных схем объекта проектирования и анализом процессов их функционирования. На этом этапе проверяется соответствие процессов функционирования требованиям и условиям ТЗ и при необходимости вносятся коррективы в принятые ранее решения. В рассмотрение включают новые параметры, необходимые для оценки функциональных свойств объекта проектирования и характеризующие его внутреннее строение. Поэтому функционально-параметрическое проектирование называют также внутренним проектированием технических объектов. Задачи функционально-параметрического проектирования охватывают стандартные этапы ЭП и частично ТП.

На уровне *конструкторско-технологического проектирования* решают задачи, связанные с выбором детальных конструктивных схем и элементов объекта проектирования, технологических процессов их изготовления и компоновки, а также правил эксплуатации. Задачи конструкторско-технологического проектирования охватывают стандартные этапы ТП и РП.

Этапы автоматизированного проектирования датчиков цели (ДЦ) имеют ряд принципиальных отличий от ранее рассмотренных, что связано с их конструктивными особенностями и спецификой эксплуатации. [4]

Анализируя ДЦ с точки зрения функциональных процессов, происходящих в них, можно выделить ряд основных специфических особенностей их работы:

1. Однонаправленность процессов и их кратковременность (0.1-50 мс) действия.
2. Открытые входы для поступающих сигналов.
3. Преобразование сигналов различной физической природы (механические в электрические, затем в тепловые и далее в детонационные).
4. Отсутствие линейной связи между входными и выходными сигналами. Воздействие входного механического сигнала с энергией 10^{-6} Дж приводит к выходному сигналу 10^{6} Дж и более.
5. Время ожидания входного сигнала (до 20 лет) гораздо больше времени работы (*0.5…5* мин).
6. Наличие программных устройств.

Кроме того, следует учитывать одноразовость функционирования, трудность определения и зачастую неопределенность исходных данных внешний воздействий. Вопросы обеспечения надежности датчиков являются в определенной степени новыми по той причине, что разработанная достаточно полно для радиоэлектронных устройств теория надежности, к сожалению, не дает ответа на многие вопросы, связанные с оценкой надежности электромеханических и особенно механических ДЦ. Эти трудности становятся понятными, если вспомнить, что ДЦ не содержит столь четко дифференцированных по своим функциям отдельных элементов: как, например, электронные схемы. Сами элементы (в

отличие от радиоэлектронных) не выпускают в массовом производстве и поэтому они не могут быть исследованы достаточно детально статистическими методами. Наконец, предположение о независимости действия причин отказов (принятое в радиоэлектронике) в каждом элементе вообще не соответствует реальной причинно-следственной связи происходящих в ДЦ физических явлений.

Отмеченные особенности ДЦ как объекта проектирования накладывают определенный отпечаток на выше проанализированные уровни автоматизированного проектирования. [5, 9]

Так, этап структурно-параметрического проектирования выполняется в достаточно ограниченном объеме и не имеет самостоятельного значения. Обычно ТЗ на разработку ДЦ является составным элементом более сложных систем (боеприпаса или ВУ). Поэтому многие внешние параметры ДЦ, например, характер динамических воздействий, параметры электрических цепей, вопросы компоновки и другие, однозначно определяются изделием, для которого он предназначен. Выбор общей структуры (принципиальной конструктивной схемы) при ручном проектировании в значительной мере определяется опытными данными и анализом имеющихся прототипов. Благодаря этим обстоятельствам структурно-параметрический вариант выбирается без особых затруднений, а его данные непосредственно включаются в ТЗ на разработку ДЦ. Однако при таком подходе вне рассмотрения остается большая часть структурно-параметрических вариантов, среди которых может оказаться оптимальный вариант. Поэтому на уровне структурно-параметрического проектирования ДЦ целесообразно рассматривать как можно больше вариантов, чтобы свести к минимуму вероятность выбора нерационального варианта.

Трудности многокритериального анализа структурно-параметрических вариантов ДЦ определяются в основном не количеством показателей, а отсутствием информации об их значениях. Большинство показателей и характеристик определяется на последующих этапах проектирования (в значительной степени экспериментальными методами). Поэтому на этапе структурно-параметрического проектирования можно воспользоваться лишь приближенными оценками стоимостных, функциональных и технических показателей, полученными на основе обобщения и систематизации опыта разработок аналогичных ДЦ.

Этап функционально-параметрического проектирования выполняется в обязательном порядке при проектировании любых ДЦ и широко известен под названием расчетного проектирования. Функциональные свойства ДЦ в большинстве случаев определяются путем расчетов электромагнитного, электромеханического и теплового состояния его активной части. Результаты расчетного проектирования оформляются в виде так называемых расчетных формуляров, которые служат основанием для выполнения следующего этапа проектирования.

Этап конструкторско-технологического проектирования ДЦ является наиболее трудоемким и составляет *70…80%* от общего объема проектных работ. Он обычно делится на два самостоятельных подэтапа: конструирование и технологическая проработка. На этапе конструирования формируется активная часть ДЦ, т.е. производится выбор общей конст-

руктивной компоновки (общего вида) и детализируются все конструктивные узлы и детали по формам, размерам, материалам и т.д. На этапе технологической проработки выбираются способы сопряжения поверхностей, технологические допуски и посадки на конструктивные детали, технологические процессы изготовления узлов и деталей ДЦ.

Таким образом, в процессе автоматизированного проектирования ДЦ можно выделить три основных этапа: структурно-параметрического проектирования (сводится к составлению ТЗ); функционально-параметрического проектирования (рассмотрение активной части ДЦ и составление расчетного формуляра) и конструкторско-технологического проектирования, который сводится к полному конструктивному оформлению ДЦ, выбору технологии производства и составлению полной проектной документации.

Раздел 3. Проектирующие подсистемы САПР ДЦ

В соответствие с тремя основными этапами проектирования в САПР ДЦ целесообразно выделить три основных проектирующие подсистемы:

– обоснования принципиальных технических решений;

– расчетного проектирования;

– конструкторско-технологического проектирования.

Первая подсистема САПР ДЦ в явной форме до настоящего времени не реализована. Это можно объяснить тем, что структурно-параметрическое проектирования ДЦ занимает небольшую долю от общего объема проектных работ (до *5%*), а задачи, решаемые на этом этапе, требуют от проектировщиков наивысшей творческой активности и большого инженерного искусства. Вследствие этого ТЗ на разработку ДЦ составляется вручную и вводится в САПР в качестве исходной информации.

Однако в настоящее время имеются все предпосылки для формализации и автоматизации этого этапа. При создании соответствующей подсистемы САПР ДЦ необходимо учесть следующее. Формальный процесс структурно-параметрического проектирования ДЦ можно представить последовательной реализацией алгоритмов генерации структурно-параметрических вариантов, формирования критериальных моделей, расчета критериев, сравнительного анализа вариантов и выбора конечного варианта. Каждый из этих алгоритмов целесообразно реализовать в виде автономного функционального модуля подсистемы, который работает по указаниям управляющего модуля подсистемы.

Процесс структурно-параметрического проектирования в САПР ДЦ является диалоговым. Участие проектировщика в этом процессе необходимо для анализа и корректировки (исключения или добавления множества вариантов и корректировки набора критериев и критериальных моделей, анализа и принятия конечных решений.

Подсистема расчетного проектирования реализована в проектных организациях первой и составляет основу действующих САПР ДЦ. Это обусловлено тем, что формализация данного этапа проектирования ДЦ достигла высокого уровня еще до применения ЭВМ.

Подсистемы конструкторско-технологического проектирования начали разрабатываться в последние годы и включены во вторую очередь действующих САПР ДЦ. Уровень

формализации решения задачи конструкторско-технологического проектирования значительно ниже, чем на предыдущем этапах, а решаемые задачи разнообразнее. Разработка этих подсистем возможна на основе активного диалога конструкторов и технологов с ЭВМ.

Заключение

В статье рассмотрена возможность использования для САПР ДЦ ВУ разработанных до настоящего времени стандартных этапов проектирования. На основе этого анализа рекомендованы три укрупнённых автономных этапа их проектирования. Учитывая же специфические особенности конструкции и функционирования ДЦ ВУ, произведена их корректировка.

В заключении данной статьи рассмотрены проектирующие системы САПР ДЦ ВУ. В процессе проведённого анализа была оценена их реализация, трудоёмкость и характер диалога между конструкторов и технологов с ЭВМ.

Отмеченные в статье особенности автоматизированного проектирования ДЦ ВУ были положены в основу проектирования ВУ к малогабаритным боеприпасам зенитной и авиационной артиллерии, сто позволило их разработчикам в городе Коврове создать завод по автоматизированному их проектированию и автоматизированному изготовлению.

К сожалению до сих пор не удалось автоматизировать процесс испытания подобных изделий из-за очень большой технической сложности внешних воздействий, испытываемых ВУ при эксплуатации и их воспроизведению комплексно в реальных условиях их производства, что особенно важно при их приёмке заказчиком.

Однако следует отметить, что частично эта зада уже решена. Так в трудах [6, 7] предложены испытательные стенды, позволяющие испытывать ВУ на ряд комплексных внешних воздействий, таких как удар, вибрация и воздействие температуры, давления.

Список литературы

1. Гжиров Р.И. Краткий справочник конструктора. Л.: Машиностроение. ЛО. 1983. 464 с.
2. Норенков И.П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем: учебное пособие для втузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа. 1986. 304 с.
3. Аветисян Д.А. Основы автоматизированного проектирования электромеханических преобразователей: учебное пособие. М.: Высшая школа.1988. 271 с.
4. Козлов В.И. Особенности проектирования и испытаний датчиков цели взрывательных устройств: учебное пособие. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2007. 47 с.
5. Ефремов А.К., Козлов В.И. Электромеханические преобразователи специального назначения: учебное пособие / под ред. Ефремова А.К. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1994. 40 с.

6. Ефремов А.К., Козлов В.И., Коршунов С.В. Испытания приборных устройств: уч. пособие в 3 ч. / под ред. М.П. Мусьякова, А.К. Ефремова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. (Ч.1.) 1983. 52 с., (Ч.2.). 1990. 40 с.
7. Самсонов Л.М., Калев А.К., Марков А.В. и др. Ротационные методы испытаний приборных устройств: монограмма. М.: Машиностроение. 1981. 133 с.
8. Анисимов В.И., Максимович В.А., Тростянский Г.Н. Система информационного обеспечения автоматизированного проектирования РЭА. / Современные методы разработки РЭА. Материалы Всесоюзного Семинара. М.: МДНТП. 1977. С.100-103.
9. Berry R.D. An optimal ordering of electronic circuit equations for sparse matrix solution. IEEE Trans. Circuit Theory. 1971. Vol. CT-18(1). P. 40-50.