

УДК 629.7

Д.Н. Крицкий, Е.А. Дружинин, Е.С. Яшина

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТАМ СОЗДАНИЯ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

*Рассмотрены основные принципы системного подхода к проектам создания беспилотной авиационной техники (БАТ), а также свойства, которыми обладает системный объект; этап проектирования беспилотных авиационных комплексов (БАК) представлен в виде системного куба; описаны модели, используемые при проектировании авиационной техники и рассмотрена взаимосвязь между проектными моделями; причины возникновения итераций в ходе проектирования БАТ на этапах жизненного цикла; проект процесса проектирования представлен в виде дихотомного дерева.*

**Ключевые слова:** системный подход, БАТ, системный куб, жизненный цикл, дихотомное дерево.

### Постановка проблемы

В настоящее время существует потенциальная выгода от использования БАТ гражданского и военного назначения, а так же явная потребность в ней. Но на данный момент действующие Воздушный кодекс и система Авиационных правил не позволяют использовать БАК в воздушном пространстве для решения практических задач [1,2].

Актуальным вопросом является создание БАТ, уровень безопасности которой был бы не ниже чем уровень безопасности пилотируемой техники. Возникает проблема обеспечения нужного уровня качества и безопасности БАТ с учетом рационального использования ресурсов.

Так как данный вид техники является существенно новым, то для безопасного и законного введения беспилотного летательного аппарата (БЛА) в воздушное пространство может потребоваться значительное время. Чтобы не повторять долгий путь развития безопасности и надежности пилотируемой авиации и для скорейшего внедрения БАТ в практику, предлагается при разработке БАТ использовать принципы системного подхода [3].

### Принципы системного подхода

Основные принципы системного подхода:

1. Целостность, позволяющая рассматривать одновременно систему как единое целое и в то же время как подсистему для вышестоящих уровней.

2. Иерархичность строения, то есть наличие множества (по крайней мере, двух) элементов, расположенных на основе подчинения элементов низшего уровня элементам высшего уровня. Реализация этого принципа хорошо видна на примере любой конкретной организации. Как известно, любая организация представляет собой взаимодействие двух подсистем: управляющей и управляемой. Одна подчиняется другой.

3. Структуризация, позволяющая анализировать элементы системы и их взаимосвязи в рамках конкретной организационной структуры. Как правило, процесс функционирования системы обусловлен не столько свойствами её отдельных элементов, сколько свойствами самой структуры.

4. Множественность, позволяющая использовать множество кибернетических, экономических и математических моделей для описания отдельных элементов и системы в целом.

5. Системность, свойство объекта обладать всеми признаками системы.

Системный объект – обладающий определенной завершенностью, целостностью (например, БЛА), состоящий из взаимосвязанных элементов, отличающийся от окружающей его внешней среды и взаимодействующий с ней (взлетает и садится на взлетно-посадочную полосу аэродрома – взаимодействие с искусственной внешней средой, совершает полет в атмосфере – взаимодействие с естественной внешней средой) [4].

Системный объект в наиболее общем виде обладает следующими свойствами: [4]

1. Объект создается ради определенной цели и в процессе достижения этой цели функционирует и развивается (изменяется).

Так целью разработки и постройки БЛА может являться более безопасное и экономически выгодное выполнение работ в сравнении с пилотируемой авиацией.

2. В составе системного объекта имеется источник энергии и материалов для его функционирования и развития.

Двигатели и запас топлива или иной источник энергии (например, аккумулятор) обеспечивают возможность полета, наземные службы (например, наземная часть БАК) проводят наземное обслуживание и подготавливают БЛА к полету и т.д.

3. Системный объект - управляемая система. Для управления системным объектом используется

информация о его собственном состоянии, о состоянии внешней среды и моделируется поведение объекта во внешней среде.

Автоматическая система управления или оператор изменяют траекторию движения на основании информации положения БЛА в пространстве, о работе всех бортовых систем и в соответствии с указаниями службы управления воздушным движением.

4. Объект состоит из взаимосвязанных компонентов, выполняющих определенные функции в его составе.

5. Свойства системного объекта не исчерпываются суммой свойств его компонентов.

Все компоненты летательного аппарата (ЛА) при их совместном функционировании обеспечивают новое свойство, которым не обладает в отдельности каждый из компонентов – возможность управляемого полета [4].

### Системное представление проектных моделей

Этап проектирования ЛА можно представить в виде системного куба (рис. 1). В котором первая грань – стадии и этапы проектирования, вторая - системные модели ЛА, третья - уровни декомпозиции.



Рис. 1. Системный куб

Цель проектирования - создание БЛА, способного в процессе выполнения поставленную заказчиком задачу с максимально возможной эффективностью.

В соответствии с блочным принципом моделирования отдельные группы отношений между параметрами и характеристиками ЛА, отражающие различные стороны его структуры и функционирования и базирующиеся на различных научно-технических дисциплинах, объединяются в ряд субмоделей [5].

Выделяются следующие основные модели, используемые при проектировании авиационной техники: геометрическая, аэродинамическая, силовой установки, сил и моментов, прочностная, конструкции, технологии, массовая, компоновки и центровки, динамическая, устойчивости и управляемости, экологическая, экономическая и летно-технических характеристик.

Геометрические модели описывают отношения между параметрами самолета и характеристиками его формы и размеров. С их помощью по выбранной компоновочной схеме и некоторым обобщенным параметрам определяется геометрия самолета – его

обводы, площади, объемы, сечения крыла, оперения и фюзеляжа. Данные этой модели используются для массовых, аэродинамических и прочностных расчетов, компоновки самолетов, графического отображения результатов проектирования, а также разработки технологической оснастки и программ для станков с числовым программным управлением [5].

Важность геометрической модели определяется и тем, что с её помощью формируется зримый образ проектируемого объекта, и тем, что для ЛА внешние формы и размеры во многом определяют его летные свойства, и тем, что эта модель является мостиком между проектом и его конкретной реализацией [6].

Аэродинамическая модель служит для расчета аэродинамических характеристик ЛА в полетной и взлетно-посадочной конфигурациях. В основе ее – связи между параметрами формы и размеров ЛА, а так же режимов полета и характером действующих на ЛА сил и моментов (их величиной и законами изменения) [5 – 7].

Модель силовой установки делает возможным расчет высотно-скоростных и расходных характеристик двигателей. Она основана на связях между геометрическими и газодинамическими параметрами двигателей разного типа и их тягой и расходом топлива на различных режимах полета [6].

Прочностные модели позволяют выявить связи между аэродинамическими, массовыми и геометрическими характеристиками самолета и характером нагружения силовых элементов конструкции, уровнем напряжения в них и величинам деформации [5].

Массовая модель обеспечивает расчет массы ЛА и ее составляющих с массовой сводкой, степенью детализации которой определяется этапом разработки проекта. В ее основу положены связи между геометрией ЛА, действующими на него нагрузками, особенностями конструктивно-силовой схемы, величиной целевой нагрузки, составом и размещением оборудования и снаряжения, с одной стороны, и массой ЛА и его составляющих с другой [6,8].

При формировании облика ЛА важную роль играет модель компоновки и центровки, обеспечивающая взаимную пространственную увязку основных компонентов ЛА с учетом удовлетворения противоречивых требований аэродинамики и прочности, устойчивости и управляемости, эксплуатационной и производственной технологичности и др. Следует отметить, что задачи компоновки, особенно внутренней, пока формализованы в малой степени и поэтому их решение требует активного участия проектировщика [6].

Массовая, аэродинамическая модели и модель силовой установки обеспечивают расчет силовых факторов, действующих на ЛА. Это позволяет решать важные при проектировании ЛА задачи по определению общих показателей маневренности ЛА, траекторий полета, взлетно-посадочных харак-

теристик, а также характеристик его устойчивости и управляемости. Эти задачи решаются с помощью динамической модели [6].

Динамическая модель самолета описывает его летные и маневренные характеристики (диапазон скоростей, дальность, скороподъемность, потолок и т.д.) в функции его аэродинамических, весовых характеристик и характеристик силовой установки [5].

Модели устойчивости и управляемости связывают характеристики статической и динамической устойчивости и управляемости ЛА относительно трех осей с его аэродинамическими, весовыми (инерционными) и геометрическими характеристиками [5].

Хорошая устойчивость и управляемость ЛА – независимо от того, управляется ли он летчиком или автоматическим устройствами – является необходимым условием обеспечения движения по той или иной траектории. Поэтому вопросы аэродинамической компоновки, обеспечивающей необходимые характеристики устойчивости и управляемости на всех режимах полета, занимают важное место в общей задаче синтеза замкнутой системы управления на этапе эскизного проектирования [9].

Для получения удовлетворительных характеристик устойчивости и управляемости ЛА на всех режимах полета его конструктивно-аэродинамические характеристики должны удовлетворять определенным требованиям: [9]

- возможные и допустимые по конструктивным или иным соображениям отклонения органов управления, а так же величины усилий на рычагах управления должны обеспечивать все необходимые для данного ЛА режимы полета;
- в собственном возмущенном движении ЛА должен быть устойчивым. Параметры возмущенно-го движения должны достаточно быстро затухать;
- реакция ЛА на управляющие воздействия должна быть такой, чтобы в переходном процессе не было забросов параметров движения (особенно нормальной перегрузки), выходящих за установленные пределы;
- запаздывание реакции ЛА на управляющие воздействия (время срабатывания) должно находиться в установленных пределах;
- система управления должна обеспечивать высокую надежность работы [9].

При достаточно широком диапазоне высот и скоростей полета ЛА одними конструктивно-аэродинамическими средствами удовлетворить всем поставленным требованиям не удастся. Получающийся разрыв между требуемыми характеристиками устойчивости и управляемости и возможностями конструктивно-аэродинамической компоновки необходимо восполнять средствами автоматики, предназначенными для улучшения устойчивости и управляемости. Создание рациональной конструктивно-аэродинамической компоновки и подбор не-

обходимых средств автоматики являются двумя неразрывными частями единого процесса синтеза замкнутой системы управления [9].

Для оценки вариантов проектно-конструкторских решений применяются различные показатели технико-экономического совершенства. Для их расчета используются эффективностные модели. Они позволяют рассчитывать показатели эффективности (массовой, топливной, экономической) ЛА (или его отдельных подсистем) в зависимости от его параметров [6].

Модель определения летно-технических характеристик вынесена отдельно, поскольку данный набор параметров ЛА очень важен на многих стадиях проектирования и при проведении экспериментальных полетов, экспериментальной отработки взлета и посадки и являются одним из основных параметров определения соответствия технического задания (ТЗ) и спроектированного ЛА.

Экономические модели отражают связи технических параметров самолета с затратами на его проектирование, изготовление и эксплуатацию [5].

Уже на этапах выбора концепции ЛА и разработки технического предложения обобщенный критерий «эффективность - стоимость» должен быть развернут в экономической модели, позволяющих проектировщикам оценить затраты на все этапы жизненного цикла ЛА, сравнить экономику конкурирующих (альтернативных) проектов и находящихся в эксплуатации ЛА и выбрать рациональные решения не только по проекту в целом, но и по ЛА и по отдельным его компонентам [4].

Огромное значение при проектировании имеет оценка рынка сбыта. Поэтому в данной модели необходимо планировать поставку ЛА на рынок. Если ЛА появляется на рынке слишком рано, интенсивность его поставки будет невелика, что приведет к снижению доходов от капитальных вложений в проект. Задержка с поставкой может привести к насыщению рынка конкурентными ЛА или потребует больших капиталовложений на быстрое развертывание производства [4].

Очень важным является финансирование работ по разработке новых технических решений, как правило на начальных этапах разработка экспериментальных ЛА ведет к финансовым потерям, однако в перспективе разработчик может оказаться монопольным обладателем продукции, пользующейся повышенным спросом, а также наличие методик, позволяющих оценить степень риска при их финансировании [4].

Наличие в распоряжении проектировщиков надежной экономической модели при проектировании ЛА, серийном производстве и эксплуатации, включая наземное техническое обслуживание и ремонт, позволяет создавать высокоэффективные конкурентоспособные ЛА и проекты их создания [4].

Экологическая модель рассматривает эргономические и экологические аспекты проектирования. В более широком плане рассматриваются любые взаимодействия человека с машиной: в процессе производства, подготовки к полету, в процессе полета. Эффективность такого взаимодействия существенным образом влияет на эффективность ЛА. Для обеспечения высокой эффективности системы человек – машина необходимо выполнение требований гигиены и физиологии, учет антропологических, биомеханических и психологических параметров человека и согласование с ними параметров машины [4].

На ранних стадиях проектирования БАК формируются объемы для рабочих мест операторов, габариты и размещение кресел операторов, органов управления, приборных досок, пультов, средств отображения информации, их конструктивные решения и функциональные возможности должны обеспечивать оптимальные условия для работы, позволяющие в процессе полета БЛА в полной мере реализовать проектные характеристики [4].

Получение высокой производственной и эксплуатационной технологичности ЛА невозможно также без учета в процессе проектирования человеческих факторов [4].

Работа коллектива проектировщиков направлена на то, чтобы не человек приспособивался к технической системе, а эта система как средство развития и усиления человеческих способностей приспособивалась человеком к его возможностям и потребностям [4].

Среди решаемых проблем экологической модели особо выделяются проблемы, связанные с воздействием авиационной техники на окружающую среду [4].

Первая экологическая проблема обусловлена тем, что современные аэродромы с длинными ВПП занимают площадь в сотни гектаров ровной земной

поверхности. Эти участки земли крайне необходимы для сельского хозяйства, тем более что они расположены в непосредственной близости от городов и крупных населенных пунктов [4].

Вторая проблема связана с шумом ЛА при взлете и посадке, нарушающим нормальные условия жизни людей на данных территориях [4].

Весьма существенную проблему создает эмиссия двигателей, т.е. загрязнение атмосферы продуктами сгорания углеводородного топлива в двигателях [4].

Гармонизация отношений человека с естественной и искусственной внешней средой – основная задача коллектива проектировщиков [4].

Модель конструкции включает в себя конструктивно-силовые схемы ЛА и его частей, способы приложения нагрузок и их уравнивания, конкретные конструкторские решения.

Модель технологии включает в себя разработку технологии получения внешних обводов, технологии изготовления деталей требуемого качества и физико-механических свойств, технологии сборки, включающую в себя сборку узлов, агрегатов, общую сборку, монтажа электро-, гидро-, пневмо- коммуникаций, соединения, технологической оснастки и оборудования, методов и средств взаимной увязки и обеспечения взаимозаменяемости частей и деталей ЛА.

Модель сил и моментов включает в себя расчет действующих аэродинамических и массовых сил и моментов, силы тяги, реакции взаимодействия с землей, пусковыми устройствами и парашютом.

Взаимосвязь моделей во время процесса проектирования отображена на рис. 2, где линиями показаны потоки данных из одной модели в другую. Как видно из рисунка все решаемые модели взаимосвязаны и при проектировании решаются одновременно, поэтому проектные модели тесно связаны друг с другом и при их решении отделы, занимающиеся данными вопросами, тесно сотрудничают.



Рис. 2. Взаимосвязь между проектными моделями

## Возникновение итераций в процессе разработки проекта

Проектирование БЛА начинается с оформления на него ТЗ. ТЗ включает в себя формирование целей, для достижения которых используется БЛА, обоснование необходимости новой разработки требует анализа и предсказания изменений во внешней среде – естественной, т.е. в природе, и искусственной, т.е. созданной руками человека, - и последствий (экологических, политических, технических), к которым приведет разработка проекта, производство БЛА и его функционирование. В результате проделанной работы определяются потребные летно-технические характеристики, технологические, эксплуатационные и другие требования к БАК. Выбираются критерии эффективности выполнения БЛА поставленной задачи и формируется техническое задание на проект. На этом этапе должны быть найдены наиболее рациональные сочетания требований, определяющие технические возможности комплекса; стоимость его создания и эксплуатации; сроки разработки, производства и поставки заказчику [4].

Этап ТЗ является весьма ответственным, необходимым и обязательным, поскольку дает исходные данные для углубленной проработки БАК на следующих этапах проектирования [4].

Проектирование условно разделяется на последовательно выполняемые этапы предварительного, эскизного и рабочего проектирования [4].

Условность такого разделения определяется глубиной проработки всех систем БЛА. На этапе предварительного проектирования прорабатывается несколько концепций БАК со степенью детализации, достаточной для того, чтобы объективно оценить преимущества и недостатки каждой из них при условии выполнения поставленного перед разработчиком ТЗ, выбрать наиболее приемлемую концепцию. При этом компромисс между весьма противоречивыми требованиями ТЗ достигается на основании более объективных результатов моделирования БЛА, его летно-технических, эксплуатационных, экономических характеристик [4].

Результаты этой работы позволяют вернуться на этап ТЗ и более точно и объективно промоделировать процесс функционирования комплекса, уточнить и конкретизировать ТЗ на разработку БЛА и других компонентов комплекса. В итоге формируется окончательный вариант ТЗ и техническое предложение, т.е. предварительный проект – «аванпроект» комплекса, объективно обосновывающий важнейшие проектно-конструкторские решения, которые останутся практически неизменными на последующих этапах разработки проекта [4].

Возникновение дополнительных итераций связано с появлением новых более точных данных, в связи с чем, появляется потребность в проведении повторных расчетов проектировочных моделей.

На рис. 3 представлены этапы проектирования БЛА и причины возникновения дополнительных итераций.

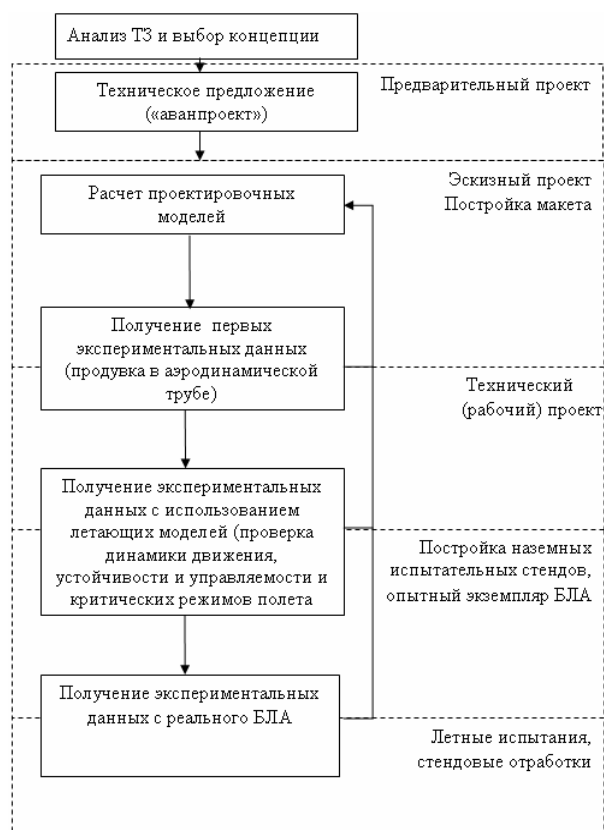


Рис. 3. Возникновение дополнительных итераций на этапах проектирования БЛА

Первый расчет моделей проводится на основании статистических данных при выполнении эскизного проекта. После постройки макета и проведения первых экспериментов в аэродинамической трубе происходит пересчет моделей на основании полученных экспериментальных данных, количество продувок и соответственно объемы получаемых данных существенно влияют на количество итераций.

Следующие более точные данные получают после проведения экспериментов с использованием летающих моделей, вследствие чего возникает необходимость совершения нового перерасчета проектировочных моделей. После данного перерасчета появляются два варианта продолжения проектирования: если все тактико-технические характеристики соблюдены, то осуществляется переход к постройке опытного экземпляра БЛА, если же нет, то это влечет к внесению изменений в проект БЛА и необходимость создания нового макета для продувок в аэродинамической трубе.

После создания экспериментального БЛА и получения данных с реального ЛА на основании летных испытаний проводится окончательный перерасчет проектировочных моделей.

Таким образом, в проекте создания БЛА сроки в основном увеличиваются из-за возникновения дополнительных итераций связанных с уточнением полученных данных в результате эксперимента.

Возможность уменьшить сроки разработки осуществляется путем внедрения принципов Lean manufacturing, отменяя не нужные дополнительные проверки, но с учетом достижения необходимого уровня безопасности, количество итераций уменьшается, в связи с чем сроки проекта также сокращаются [10-12].

### Многовариантность проекта создания БАТ

Процесс проектирования идет от общего к частному путем детализации текущего варианта разработки. Проектирование - многоступенчатый итерационный процесс с возрастающей детализацией и точностью проработок, связанный с получением достоверной и полной информации и позволяющий принимать решения на основе оптимальных компромиссов с минимальным техническим и экономическим риском [4].

Весь процесс проектирования разбивается на ряд задач последовательно возрастающего порядка, который может быть представлен в виде дихотомного дерева (рис. 4). Задача первого порядка – выбор основного принципа, на котором будет основан проектируемый объект [9]. После того, как будет решена эта первая задача, приступают к решению задач второго порядка – выбору схемы, основной конструкции и размеров каждой из основных частей. Задач второго порядка будет столько, на сколько основных частей разделяется объект [9].

После этого переходят к решению задач третьего порядка – выбор схемы, конструкции и размеров более мелких частей, из которых состоят основные части объекта. Так, переходя последовательно от всего объекта в целом ко всем более мелким частям и кончая всеми деталями и их взаимодействиями и соединениями, получают в конце концов все искомые параметры и полностью разработанный проект [9].

Чтобы полученный в конце такого процесса вариант проекта оказался наилучшим из всех возможных, нужно, чтобы каждая из последовательно решаемых задач решалась

правильно, точнее – чтобы для каждой задачи было найдено решение, наилучшее из всех возможных. Для обеспечения правильного решения каждой частной задачи конструктор с помощью своего творческого воображения должен представить себе и просмотреть все возможные ее решения. Для частной задачи это вполне осуществимо тем более, что многие решения сразу же отпадают, как явно невыгодные. Оставшиеся решения подвергаются тщательному анализу с целью выявления всех преимуществ и недостатков каждого решения. Этот анализ является очень существенной стороной работы конструктора; особенно важно проанализировать все возможные недостатки конструкции. Оставшиеся для сравнения варианты решения данной части задачи надо попытаться улучшить, т.е. усилить положительные качества и устранить или ослабить недостатки [9].

Необходимость комплексного решения данной задачи заставляет конструктора прежде, чем принять окончательное решение, заглядывать вперед и просматривать решения задач более высокого порядка [9].

С другой стороны, при решении данной задачи обнаруживаются неувязки с ранее принятыми решениями и приходится в эти уже принятые решения вносить некоторые исправления и уточнения, главным образом, размерного характера. Но нельзя допускать радикального пересмотра решений, принятых на первых этапах проектирования, так как это приводит к большим потерям в сроках и качестве проекта. Поэтому решению задач первого и второго порядка следует уделить больше внимания и труда [9].

В целом появляется два пути для решения задачи проектирования: первый путь максимальный – заключается в просмотре всех возможных вариан-

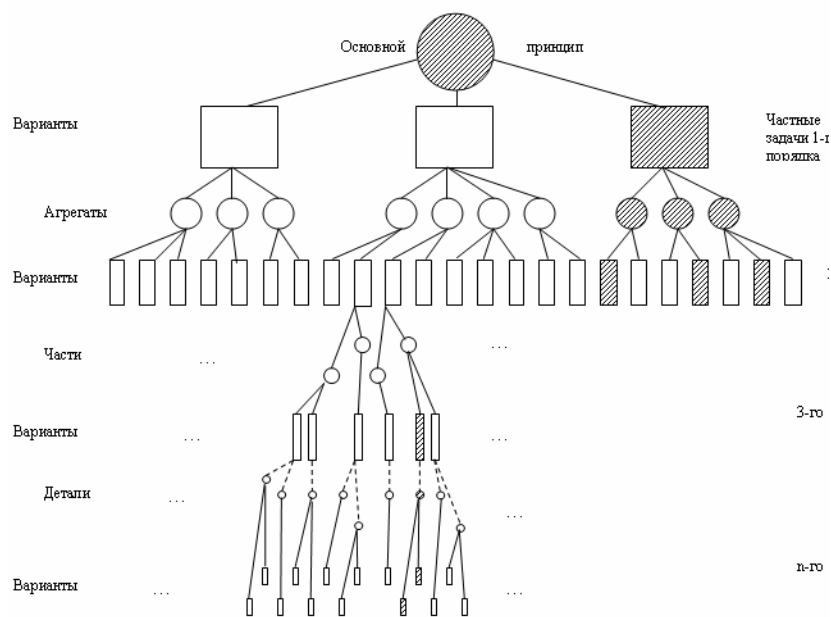


Рис. 4. Схема процесса проектирования

тов, то есть подразумевает необходимость полного прохождения дихотомного дерева со всеми ответвлениями; второй путь кратчайший – заключается в том, что мы уже знаем заранее какие решения необходимо принимать в ходе проекта для достижения поставленной цели.

Максимальный путь будет пройден в любом случае, но не обязательно в рамках одного проекта, стоимость и сроки прохождения максимального пути также максимальны. Кратчайшие пути будут появляться только в результате завершенных проектов и с учетом большого исследования вариантов. Таким образом наиболее кратчайшие пути оптимальные по затратам и срокам будут возникать после исследования всех возможных вариантов.

## Выводы

В данной статье предложено применить принципы системного подхода к проектам создания БАТ, что позволит существенно сократить сроки и стоимость, повысить качество разрабатываемой техники.

Выявлены причины возникновения дополнительных итераций в проекте и предложены способы сокращения их числа.

Представлена возможность накопления опыта по созданию БАТ в виде дихотомного дерева, что позволит в дальнейших проектах, при конкретных исходных данных, описанных в ТЗ, более оптимально выбирать проектные пути решения, что обеспечит более четкое планирование проекта с выходом на конкретные сроки и стоимости проекта при установленном уровне качества продукта.

В связи с изложенным в дальнейшем необходимо проанализировать и упорядочить структуру работ проекта создания БАТ и разработать систему рационального управления проектом.

## Список литературы

1. Каргопольцев В.А. Проблемы создания беспилотной гражданской авиации / В.А. Каргопольцев, В.А. Подобедов // Полет – 2007. – № 11. – С. 12-15.

## СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЕКТІВ СТВОРЕННЯ БЕЗПІЛОТНОЇ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

Д.М. Крицький, Є.А. Дружинін, О.С. Яшина

*Розглянуто основні принципи системного підходу до проектів створення безпілотної авіаційної техніки, а також властивості, якими володіє системний об'єкт; етап проектування безпілотної авіаційної техніки представлений у вигляді системного кубу; описані моделі, що використовуються при проектуванні авіаційної техніки та розглянуто взаємозв'язок між проектними моделями; причини виникнення ітерацій в ході проектування безпілотної авіаційної техніки на етапах життєвого циклу; проект процесу проектування представлений у вигляді дихотомного дерева.*

**Ключові слова:** системний підхід, БАТ, системний куб, життєвий цикл, дихотомне дерево.

## SYSTEM APPROACH TO THE PROJECTS OF CREATION OF UNMANNED AIRCRAFT EQUIPMENT

D.N. Kritskiy, Ye.A. Druzhinin, H.S. Yashina

*The article deals with the basic principles of the system approach to the projects of creation of unmanned aircraft equipment and properties of the system object. The design phase of unmanned aircraft systems is presented in the form of a systemic cube. The models used in the design of aircraft equipment are also described in the article. The relationship between the design models has been studied. The article presents the reasons for the occurrence of iterations in the design of unmanned aircraft in the course of its life cycle. The design process project is presented as a dichotomic tree.*

**Keywords:** system approach, UAE (unmanned aircraft equipment), cube system, life cycle, dichotomic tree.

2. Серьезнов А.Н. Концепция развития малой авиации гражданского и специального назначения / А.Н. Серьезнов, В.К. Белов, В.В. Воронин, В.Т. Терешин // Полет – 2007. – № 6. – С. 3-9.

3. Жеребин А. Системный подход Вопросы обоснования к БАТ военного назначения [Электронный ресурс] / А. Жеребин, В. Попов, С. Демидов. – Режим доступа: [http://www.uav.ru/articles/sys\\_approach.pdf](http://www.uav.ru/articles/sys_approach.pdf)

4. Егер С.М. Основы авиационной техники: Учебник / С.М. Егер, А.М. Матвеев, И.А. Шаталов и др. Под ред. И.А. Шаталова. – Изд. второе, перераб. и доп. – М.: Изд-во МАИ, 1999. – 576 с.

5. Егер С.М. Проектирование самолетов: Учебник для вузов/С.М. Егер, В.Ф. Мишин, Н.К. Лисейцев и др. Под ред. С.М. Егера. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 616 с.

6. Егер С.М. Основы автоматизированного проектирования самолетов: Учеб. Пособие для студентов авиационных специальностей вузов./ С.М. Егер, Н.К. Лисейцев, О.С. Самойлович. – М.: Машиностроение, 1986. – 232 с

7. Гречихин Л.И. Аэродинамика дозвуковых летательных аппаратов / Л.И. Гречихин // Полет. – 2007. – №6. – С. 18-24.

8. Дружинин Е.А. Особенности массовой модели беспилотного летательного аппарата / Е.А. Дружинин, Д.Н. Крицкий, А.И. Захарчук // Системы обработки информации – Х.: ХУПС, 2013. – № 1 (108). – С. 44-49.

9. Гороценко Б.Т. Эскизное проектирование самолета. / Б.Т. Гороценко, А.А. Дьяченко, Н.Н. Фадеев. – М.: Машиностроение, 1970. – 332 с.

10. Кашин В.М. Разработка обшей задачи синтеза ПЗРК и порядок ее решения / В.М. Кашин // Полет. – 2007. – №10. – С. 55-60.

11. Дмитриев В.Г. Об использовании относительных критериев оценки совершенства самолета при создании истребителей 5-го поколения / В.Г. Дмитриев, В.В. Володин, В.Н. Белкин, В.П. Соколов // Полет. – 2007. – №9. – С. 3-9.

12. Барковский В.И. Методология формирования технического облика авиационных комплексов с учетом потребностей внешнего рынка/ В.И. Барковский, Г.М. Скопец, В.Д. Степанов // Полет. – 2008. – № 8. – С. 39-46.

Поступила в редколлегию 21.08.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. Б.А. Демидов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.