

УДК 37.09:629.7

DOI 10.20339/AM.07-26.080

Д.А. Козорез,
д-р техн. наук, профессор, проректор по учебной работе
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
e-mail: kozorezda@mail.ru

Ю.Г. Следков,
канд. техн. наук, доцент,
директор института
«Системы управления, информатика и электроэнергетика»
e-mail: ygs@mail.ru
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

М.И. Топорова,
старший преподаватель
кафедра «Внешнее проектирование и эффективность авиационных комплексов»
e-mail: toporovami@mail.ru
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

А.В. Корнеев*,
канд. техн. наук, доцент
кафедра «Вычислительные машины, системы и сети»
e-mail: ankorn77@gmail.com
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ МОДУЛЕЙ ПО БЕСПИЛОТНЫМ АВИАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

В статье рассматриваются вопросы разработки и внедрения образовательных модулей по беспилотным авиационным системам (БАС) в программы высшего образования аэрокосмической отрасли. Основное внимание уделяется методологии концептуального проектирования БАС и сценарному моделированию как ключевому инструменту формирования технических требований к беспилотным системам. Практическая значимость исследования заключается в разработке конкретных методических материалов для подготовки специалистов в области беспилотной авиации. Предложенные подходы позволяют сформировать у студентов необходимые компетенции для проектирования современных БАС и сократить разрыв между академическим образованием и требованиями индустрии. Результаты исследования могут быть использованы при разработке образовательных программ по направлениям авиационного строительства, технической эксплуатации летательных аппаратов, робототехники и систем управления.

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы, сценарное моделирование, концептуальное проектирование, образовательные модули, аэрокосмическая отрасль, методология проектирования, моделирование операций, подготовка кадров, модели эффективности БАС, инженерное образование.

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF MODULES ON UNMANNED AERIAL SYSTEMS INTO EDUCATIONAL PROGRAMS OF HIGHER EDUCATION IN THE AEROSPACE INDUSTRY

Dmitry A. Kozorez, D.Sc. (Engineering), Professor, Vice-rector for Academic Affairs, Moscow Aviation Institute (National Research University), e-mail: kozorezda@mail.ru

Yurii G. Sledkov, Cand. Sci. (Engineering), Docent, Director of the Institute "Control Systems, Informatics and Electric Power Engineering", Moscow Aviation Institute (National Research University), e-mail: ygs@mail.ru

Maria I. Toporova, Senior Lecturer of the Department "External design and Efficiency of Aviation Complexes", Moscow Aviation Institute (National Research University), e-mail: toporovami@mail.ru

Anna V. Korneenkova*, Cand. Sci. (Engineering), Docent, Associate Professor, Department of Computing Machines, Systems and Networks, Moscow Aviation Institute (National Research University), e-mail: ankorn77@gmail.com

The article deals with the development and implementation of educational modules on unmanned aviation systems (UAS) in higher education programs of the aerospace industry. The main focus is on the methodology of conceptual design of UAS and scenario modeling as a key tool for shaping technical requirements for unmanned systems. The practical significance of the research lies in the development of specific methodological materials for training specialists in the field of unmanned aviation. The proposed approaches allow students to acquire the necessary competencies for designing modern UAS and bridge the gap between academic education and industry requirements. The research results can be used in the development of educational programs in the following areas: aircraft construction, technical operation of aircraft, robotics, control systems, unmanned systems design.

Keywords: unmanned aviation systems, scenario modeling, conceptual design, educational modules, aerospace industry, design methodology, operation modeling, personnel training, UAS efficiency models, engineering education

Введение

Беспилотная авиация представляет собой развивающуюся отрасль экономики, связанную с разработкой, изготовлением и эксплуатацией беспилотных авиационных систем (БАС). Развитие технологий радиосвязи и микроэлектроники, миниатюризация устройств и компонентов, повышение их доступности привели к появлению нового класса авиационных систем, характеризующихся передачей от человека к бортовым и наземным автоматизированным системам части (большей или меньшей) функций получения, обработки, анализа полетной информации и выполнения управляющих команд.

Под беспилотными авиационными системами понимается комплекс взаимосвязанных элементов, включающий в себя одно беспилотное воздушное судно (БВС) или несколько таких судов, средства обеспечения взлета и посадки, средства управления полетом одного БВС или нескольких таких судов и контроля за их полетом.

Перемещение пилота из кабины воздушного судна на землю, с одной стороны, не изменяет сути процессов проектирования БАС/БВС как летательного аппарата (ЛА). С другой стороны, можно отчетливо видеть смещение акцентов и приоритетов практически на всех стадиях жизненного цикла изделия (ЖЦИ). Проектирование БАС находится на стыке авиастроения, робототехники и информационных технологий.

Здесь исключается необходимость наличия на воздушном судне систем жизнеобеспечения и спасения человека, но появляется необходимость наличия на борту более совершенных навигационных средств, способных к автономному самопозиционированию, комплекса производительных бортовых вычислителей, в том числе для работы с нейросетевыми алгоритмами, оптико-электронных систем и сенсоров высокой точности и чувствительности, а также систем автоматического управления полетом и автоматического предотвращения столкновений. В зависимости от типа БВС также требуется развитие определенной инфраструктуры.

Становятся менее жесткими требования по обеспечению безопасности, прочности, надежности и ресурса, и эргономики. Это расширяет круг задач БАС, а в некоторых случаях снижает стоимость решения аналогичных задач по сравнению с пилотируемой авиацией.

Меняется философия и концепция проектирования ЛА. От концепции безопасного ЛА к концепции функционального ЛА, при которой особое внимание уделяется начальным стадиям ЖЦИ – внешнему (концептуальному) и обликовому проектированию (рис. 1).

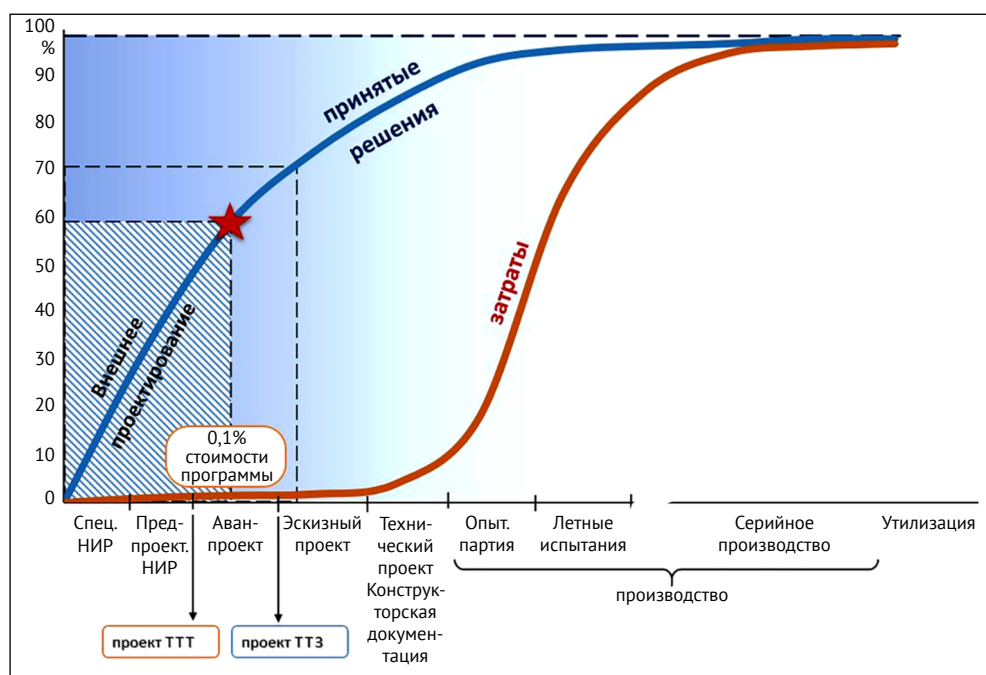


Рис. 1. Жизненный цикл изделия – ЛА

Соответствующей корректировки требует и методика преподавания.

При разработке образовательных модулей по обучению навыкам проектирования, разработки, производства и эксплуатации БАС начальные стадии ЖЦИ пока являются наименее проработанными.

Однако накопленный к настоящему времени опыт проектирования авиационных комплексов (АК) показывает, что именно процесс предварительного проектирования – наиболее ответственный этап. На этом этапе при затратах, не превышающих нескольких процентов от стоимости процесса создания АК, принимается основная масса ключевых проектных решений [1; 2].

В предлагаемой статье в качестве примера будет представлена методика разработки образовательного модуля «Сценарное моделирование» как часть блока дисциплин по проектированию БАС.

Основная часть

Методология внешнего (концептуального) проектирования БАС

Внешнее (концептуальное) проектирование – это обоснование потребных характеристик и ожидаемого функционального облика БАС и его подсистем исходя из анализа будущих операций с его участием и с учетом реальных ресурсных ограничений. Обобщенная схема формирования тактико-технических требований БВС с применением технологии внешнего (концептуального) проектирования показана на рис. 2.



Рис. 2. Обобщенная схема формирования тактико-технических требований БВС с применением технологии концептуального проектирования

В процессе внешнего проектирования итерационно решаются две задачи – задача синтеза и задача типажа.

- Задача синтеза – определение рациональных значений обликковых параметров авиационной системы (АС).
- Задача типажа – определение рациональной номенклатуры и численности АС различного типа, образующих формируемый парк АС, необходимый для выполнения всего множества задач при их рациональном распределении между составляющими парк типами АС.

Совместное решение этих двух задач позволяет решать так называемую парко-типажную задачу внешнего проектирования [3].

Облик БАС определяется составом основных, обеспечивающих, вспомогательных элементов и характеристиками этих элементов. Требования к облику БАС, т.е. требования к составу и характеристикам элементов БАС, порождаются прежде всего теми задачами, которые возлагаются на БАС,

и теми условиями, в которых предположительно будет эксплуатироваться БАС. Справедливо полагать, что может быть сформировано множество вариантов БАС, приспособленных к выполнению поставленных целевых задач в прогнозируемых условиях применения, но различающихся по показателям целевой, стоимостной, рискованной эффективности.

Целевая эффективность зависит не только от принятых технических решений, определяющих характеристики элементов БАС и прежде всего БВС, но и способов или сценариев применения (тактических решений). При этом возможности по варьированию сценариев применения БАС могут сыграть роль определяющего фактора при выборе

технических решений, т.е. при выборе вариантов БВС с определенными характеристиками.

Указанные обстоятельства определяют необходимость детального рассмотрения возможных сценариев целевого применения БВС различных классов при выполнении комплекса задач, возлагаемых на беспилотную авиацию.

На стадии формирования технических концепций альтернативных АС (БВС) применяются модели оценки эффективности БАС, которые можно разбить на несколько уровней.

Отраслевой уровень. Характеризуется оценкой показателей функционирования большой системы, спроектированной

на основе объектов, для решения парково-типажных задач в дискретной постановке на основе моделей формирования состава парков БВС на интервале планирования и моделей оценки инвестиционной привлекательности проектов БАС.

Операционный уровень. Характеризуется оценкой показателей функционирования большой системы, спроектированной на основе объектов, для решения парково-типажных задач в дискретной постановке на основе моделей оценки эффективности парка БВС в транспортной операции и моделей оценки экономической эффективности деятельности эксплуатантов (в операции).

Функциональный уровень. Характеризуется оценкой функциональных, эксплуатационных и технических показателей объектов авиационной техники (АТ) на основе моделей оценки эффективности БВС во фрагменте транспортной операции и модели расчета затрат на один вылет БВС.

Технический уровень. Характеризуется оценкой основных функциональных, эксплуатационных и технических показателей подсистем АТ на основе системного объединения отдельных моделей оценки конструктивно-технических показателей элементов или через упрощенные аналитические, имитационно-аналитические и эмпирические модели этих подсистем (модели оценки пропускной способности элементов инфраструктуры, модель загрузки грузового отсека).

Конструктивный уровень. Характеризуется оценкой конструктивных, технологических, производственных, экономических и других ключевых характеристик отдельных элементов, узлов, деталей и агрегатов, входящих в состав отдельных подсистем объектов АТ (летательных аппаратов, аэродромов), производственной и управляющей систем (модели оценки аэродинамических характеристик профилей крыла; параметрические модели элементов планера, силовой установки)

На функциональном, операционном и отраслевом уровне используются модели оценки эффективности, которые требуют применения сценарного метода исследования.

Сценарный метод предполагает установление логической последовательности событий с целью демонстрации того, как в зависимости от исходной ситуации может развиваться шаг за шагом будущее состояние объекта. Фактически сценарный метод представляет собой практическую реализацию принципа последовательного снятия неопределенности [2].

Процесс формализации сценария (рис. 3) опирается на понятийный аппарат теории исследования операций, где:

- ♦ задача – некоторая желаемая для оперирующей стороны (ОС) цель, которую следует достигнуть и которая может быть описана количественно;
- ♦ параметры выполнения задачи – факторы и характеристики, уточняющие и конкретизирующие задачу, ее состояние, положение, показатели и достижение которых определяет выполнение задачи, и т.д.;
- ♦ условия выполнения задачи – комплекс факторов природного и техногенного происхождения, влияющих на результат выполнения задачи, контролируемых и неконтролируемых ОС;
- ♦ сценарий – логическая последовательность взаимосвязанных действий, совершаемых для достижения поставленной задачи в рассматриваемых условиях.

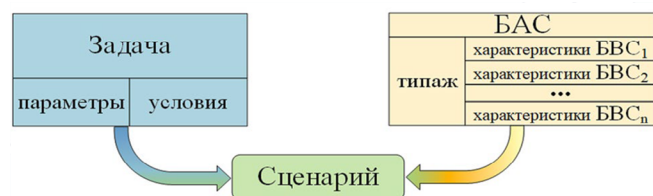


Рис. 3. Формализация сценария операции

Важнейшим этапом в разработке сценариев применения является *формирование номенклатуры задач БАС*.

Задачи во внешнем проектировании появляются из нормативных документов, которые создаются на основе формально зафиксированных потребностей народного хозяйства. Такими нормативными документами могут выступать законы, указы, распоряжения региональных и федеральных органов власти, и отдельных предприятий и организаций.

Для БАС наиболее актуальным документом на текущий момент является Стратегия развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 г. и на перспективу до 2035 г. [4]. В соответствии с ней выделяются следующие классы задач:

- ♦ сбор и передача данных, дистанционный мониторинг;
- ♦ авиационная разведка и обеспечение охраны территории и объектов;
- ♦ внесение распыляемых жидких, порошкообразных, газообразных веществ, биологических объектов, иных форм и средств защиты растений, связывания грунтов и нейтрализации разлива нефтепродуктов;
- ♦ аэрологистика;
- ♦ обеспечение связью – оперативная организация фрагментов сетей подвижной радиосвязи, ретрансляция оптических сигналов и радиосигналов;
- ♦ образовательная и спортивная деятельность;
- ♦ визуальные инсталляции;
- ♦ внешние работы;
- ♦ перевозка людей.

Количественную иллюстрацию данным направлениям демонстрирует Аналитический отчет по исследованию российского гражданского рынка беспилотных авиационных систем (БАС) Ассоциации «Аэронекст» (Москва, 2023 г.) [5] (рис. 4).



Рис. 4. Распределение разрабатываемых БАС/БВС по предполагаемым сферам применения

Формализация и декомпозиция сценария применения в целевых задачах

Несмотря на многообразие классификационных признаков, зачастую многие сценарии (даже в рамках различных классов задач) имеют общие основные элементы, обусловленные схожестью формального описания выполняемой задачи.

К таким универсальным элементам (фазам), прежде всего, относятся:

- ◆ планирование операции, включающее определение объема решаемых в рамках вылета или последовательности вылетов задач, оценка готовности и достаточности запаса расходуемых средств и ресурса БАС и ее подсистем;
- ◆ предполетная подготовка, включающая проверку технического состояния БАС, его компонентов и систем, а также проведение подготовки к запуску (например, планирование маршрута вылета, проверка условий окружающей среды, пополнение запаса расходуемых средств);
- ◆ подготовка запуска и запуск, включающая развертывание БВС на стартовой площадке, активацию режима готовности к старту, выбор параметров запуска в зависимости от концепции БАС, решаемой задачи и текущих условий применения;
- ◆ полет к району выполнения задачи, включающий этапы реализации заданного профиля полета, непрерывную или периодическую коррекцию курса, мониторинг состояния систем БВС и целевой нагрузки;
- ◆ выполнение задачи миссии (целевое применение);
- ◆ полет к месту базирования/посадки, включающий навигацию к району базирования или посадки или выбор места приземления (например, для парашютной системы посадки);
- ◆ посадка, определяемая технической концепцией БВС, его размерностью, возможностью использования вспомогательных технических средств (приводные радиотехнические системы, визуальные ориентиры, улавливающие сети, системы парашютной посадки) или ручного управления;
- ◆ послеполетное/межполетное обслуживание, включающее выгрузку и анализ телеметрической и целевой информации.

Некоторые фазы могут быть тривиальными (или отсутствовать) и, наоборот, включать сложную последовательность действий – это зависит от решаемой задачи.

При этом причинно-следственная обусловленность требований к характеристикам разрабатываемой БАС и требований к способам выполнения ею целевых задач является взаимной и устанавливается в ходе итеративного

исследовательского процесса с применением разрабатываемой технологии автоматизированного концептуального проектирования БАС [2].

На практическую реализацию каждой из фаз (равно как и на особенности ее модельного представления) влияют факторы, зависящие как от особенностей технической реализации БАС, так и от условий выполнения поставленной задачи.

Систематизация условий применения БАС включает обобщение основных действующих факторов, определяющих особенности функционирования систем БАС на каждой фазе вылета, что впоследствии учитывается при моделировании применения БАС определенной технической концепции и формализуется в виде сценария выполнения конкретной целевой задачи.

К некоторым основным значимым условиям и вариантам их реализации можно отнести:

- ◆ условия базирования;
- ◆ условия полета;
- ◆ условия целевого применения;
- ◆ условия посадки.

При этом естественным образом варианты условий, связанные с разными категориями, комбинируются друг с другом и в совокупности с перечнем исследуемых фаз применения БАС формируют исследовательский сценарий (похожие подходы описаны в источниках [6–9]). На рис. 5 изображена схема процессов моделирования на основе сценарного подхода.



Рис. 5. Схема процессов моделирования на основе сценарного подхода

В результате итерационного процесса сценарного моделирования, получают уточнение целевых задач и набор исходных данных (количественных) для моделей оценки эффективности в различных целевых задачах и получение результатов для выработки рационального решения поставленной задачи.

Применение сценарного метода В различных целевых задачах БАС

Самым востребованным направлением применения БАС (классом задач) является направление дистанционного мониторинга. Рассмотрим применение метода сценарного моделирования на примере этого класса задач.

Направление **дистанционного мониторинга** разбивается на ряд подзадач:

- ◆ мониторинг площадных объектов;
- ◆ мониторинг линейных объектов;
- ◆ мониторинг точечных объектов;
- ◆ экологический мониторинг;
- ◆ мониторинг элементов городской инфраструктуры;
- ◆ аэрофотосъемка;
- ◆ мониторинг сельскохозяйственных объектов;
- ◆ мониторинг объектов энергетической промышленности;
- ◆ геологоразведка;
- ◆ разведка радиационного фона;
- ◆ мониторинг состояния природных ресурсов;
- ◆ аэромагнитная съемка с огибанием рельефа.

БАС в сценарии выполнения площадного мониторинга, можно рассматривать как набор систем:

- ◆ БВС, которое включает подсистемы и бортовое оборудование:
 - 1) бортовые средства спутниковой связи;
 - 2) средства навигации;
 - 3) бортовой транспондер;
 - 4) средства хранения информации;
 - 5) программно-аппаратные средства управления целевым применением;
 - 6) дополнительное оснащение, зависящее от условий применения;
- ◆ система целевой нагрузки в зависимости от решаемой задачи:
 - 1) многофункциональная оптико-электронная станция;
 - 2) лидар;
 - 3) тепловизор и другое специальное оборудование.
 - 4) радиолокационная система;
 - 5) оборудование для мультиспектральной съемки.
- ◆ система наземного обслуживания (система заправки/зарядки, ремонта и др.);

- ◆ система базирования – аэродром с взлетной полосой или специализированным оборудованием запуска (катапульта или специальная площадка);

- ◆ система управления БАС (наземный пункт управления). Окончательный вариант декомпозиции подсистем БАС зависит от требований методик определения показателей эффективности и методов последующей оптимизации обликотных характеристик БВС и БАС в целом.

В общем виде сценарий можно представить в виде нескольких фаз, которые могут быть цикличны и зависят от характерного набора ограничений использования [2]:

1 фаза – развертывание наземных систем;

2 фаза – фаза взлета (включая операции по обеспечению взлета);

3 фаза – фаза следования в район выполнения задачи;

4 фаза – фаза целевого применения – дистанционный мониторинг площадных объектов может производиться путем облета территории по определенной траектории (галсами, сходящейся спиралью, расходящейся спиралью и др.);

5 фаза – перелет до места базирования;

6 фаза – посадочные операции;

7 фаза – обслуживание.

В общем виде схема такого сценария представлена на рис. 6.

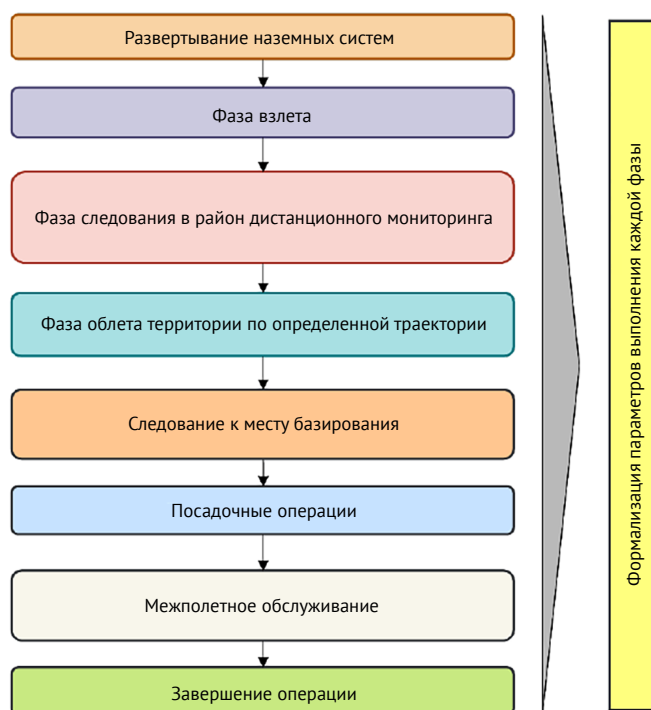


Рис. 6. Схема процессов исследовательского сценария применения БВС в задаче дистанционного мониторинга

Подход к формализации процессов исследовательского сценария применения БВС позволяет также сформировать базу данных параметров, необходимых для математического моделирования [10].

Качественные и количественные результаты сценарной формализации задачи являются исходными данными для разработки моделей оценки эффективности БАС, в частности выбора адекватного критерия эффективности.

Тщательно проведенное сценарное моделирование позволяет:

- ♦ исследовать поведение сложной системы в разнообразных, в том числе критических, условиях до создания физического прототипа;
- ♦ выявить противоречия в требованиях;
- ♦ провести проверку реализуемости;
- ♦ провести верификацию и валидацию алгоритмов управления;
- ♦ провести подготовку и оптимизацию натурных испытаний.

Следует отметить возрастающую роль процесса сценарного моделирования. Этот метод перешел от вспомогательного инструмента к основе сквозного цифрового проектирования. Он является мостом между абстрактными требованиями и летным образцом, особенно для интеллектуальных БАС. В условиях, когда физические эксперименты дороги, а сложность систем растет, именно сценарное моделирование позволяет инженерам безопасно «протестировать» будущее изделие через все возможные ситуации и принять оптимальные проектные решения.

Внедрение модулей по БАС в образовательные программы высшего образования аэрокосмической отрасли

Для эффективной подготовки специалистов аэрокосмической отрасли целесообразно интегрировать материал по сценарному моделированию в виде отдельного модуля в основные образовательные программы (ООП) по направлениям:

- ♦ 24.03.04 «Авиационное строительство» (базовое высшее образование 4 года);

- ♦ 25.03.01 «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей» (базовое высшее образование);
- ♦ 24.04.04 «Авиационное строительство» (специализированное высшее образование);
- ♦ 24.05.05 «Интегрированные системы летательных аппаратов» (базовое высшее образование 5,5 лет);
- ♦ профильные программы базового и специализированного высшего образования в области робототехники, систем управления и встраиваемых вычислительных комплексов. Целевые компетенции, формируемые модулем:
- ♦ способность разрабатывать сценарии применения БАС для заданных целевых задач;
- ♦ умение декомпозировать операцию на фазы и условия, формализуя требования к системе;
- ♦ навык выбора и расчета критериев эффективности на разных уровнях моделирования (от отраслевого до конструктивного);
- ♦ владение методами итерационного уточнения облика БАС на основе сценарного анализа.

На рис. 7 изображена структурная схема элементов образовательного модуля «Внешнее проектирование и сценарное моделирование БАС».



Рис. 7. Структурная схема элементов образовательного модуля «Внешнее проектирование и сценарное моделирование БАС»

Структура модуля (рекомендуемый объем – 4–6 зачетных единиц).

1. Теоретический блок (лекции, семинары):
- ♦ основы внешнего проектирования БАС;

- ♦ методология сценарного моделирования;
 - ♦ классификация задач и условий применения БАС;
 - ♦ уровни и критерии оценки эффективности.
2. Практический блок (лабораторные работы, кейсы):
- ♦ анализ типовых сценариев (мониторинг, логистика, разведка и др.);
 - ♦ построение фазовых диаграмм и формализация условий;
 - ♦ расчет показателей эффективности для разных уровней моделирования.
3. Проектный модуль (курсовой проект / НИРС):
- ♦ разработка сценария для конкретной целевой задачи (на примере реального ТЗ от индустриального партнера);
 - ♦ итерационное уточнение облика БАС с использованием ПО для сценарного анализа;
 - ♦ подготовка отчета с количественными показателями и рекомендациями.

Методы и средства обучения:

- ♦ кейс технологии (разбор реальных проектов из практики компаний разработчиков БАС);
- ♦ имитационное моделирование (использование ПО: MATLAB/Simulink, AnyLogic, специализированных САПР для БАС);
- ♦ проектная работа в междисциплинарных командах (авиаконструкторы, программисты, системотехники, авиатехнологи);
- ♦ экспертные сессии с представителями индустрии (приглашенные лекторы, мастер классы).

Оценочные средства:

- ♦ защита кейсовых заданий (анализ сценариев);
- ♦ презентация проектного решения с расчетом показателей эффективности;
- ♦ экзамен с элементами кейс анализа (оценка способности применять методологию к новым задачам).

Ожидаемые результаты внедрения модуля:

- ♦ формирование у студентов системного мышления в области проектирования БАС;
- ♦ развитие навыков междисциплинарного взаимодействия (авиастроение, робототехника, информационные технологии, искусственный интеллект);
- ♦ сокращение разрыва между академическим знанием и практическими требованиями отрасли;

Литература

1. Анисимов К.С., Евдокименков В.Н., Красильщиков М.Н., Сыпало К.И., Топоров Н.Б. Оптимизация процессов создания перспективных летательных аппаратов на базе концепции функционального проектирования. М.: Изд-во Инновационное машиностроение, 2025. 260 с.

- ♦ повышение конкурентоспособности выпускников на рынке труда (в том числе в компаниях – участниках нацпроекта «Беспилотная авиация»).

Рекомендации по масштабированию.

1. Создание сетевых программ с участием ведущих вузов и индустриальных партнеров (например, в рамках консорциумов по развитию БАС).
2. Разработка онлайн курсов и виртуальных лабораторий для дистанционного освоения модуля.
3. Интеграция модуля в программы дополнительного профессионального обучения для переподготовки действующих специалистов.
4. Обновление учебно методического обеспечения с учетом актуальных нормативных документов (Стратегия развития БАС до 2035 г., профессиональные стандарты, технические регламенты).

Заключение

В рамках этой статьи был рассмотрен один из этапов внешнего (концептуального) проектирования – сценарное моделирование, которое служит фундаментом для формирования исходных данных для моделей эффективности БАС. Показано, что именно на ранних стадиях жизненного цикла изделия закладываются базовые характеристики системы, а сценарный метод позволяет:

- ♦ исследовать поведение сложной системы в разнообразных (в том числе критических) условиях до создания физического прототипа;
- ♦ выявлять противоречия в требованиях и проверять реализуемость решений;
- ♦ верифицировать и валидировать алгоритмы управления;
- ♦ оптимизировать подготовку натурных испытаний.

Внедрение модуля по сценарному моделированию в основные образовательные программы высшего образования – это стратегически важный шаг для подготовки кадров, способных проектировать БАС нового поколения. Такой подход обеспечит преемственность знаний, соответствие образовательным стандартам и запросам индустрии, а также укрепит позиции российской аэрокосмической отрасли на глобальном рынке.

References

1. Anisimov, K.S., Evdokimenkov, V.N., Krasilshchikov, M.N., Syalo, K.I., Toporov, N.B. Optimization of processes for the development of advanced aircraft based on the concept of functional design. Moscow: Innovative Mechanical Engineering Publishing House, 2025. 260 pp.

2. Топоров Н.Б., Скрипниченко Ю.С., Малафеев И.В., Вавилов Д.С., Русак М.А. Комплекс ситуационного моделирования как основа системы поддержки принятия решений в области авиастроения в современных условиях // Физико-техническая информатика (СРТ 2021–2022): материалы Международной конференции. Пущино, 2022. С. 114–119.
3. Жеребин А.М., Топоров Б.П., Горлов В.М. Методологические основы внешнего проектирования авиационных комплексов // Труды МАИ. 2013. № 69.
4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21 июня 2023 г. № 1630-р «Об утверждении Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года и плана мероприятий по ее реализации».
5. Аналитический отчет по исследованию российского гражданского рынка беспилотных авиационных систем (БАС) / Ассоциация «Аэронекст». М., 2023. URL: https://aeronext.aero/UserFiles/ContentFiles/2023-12-29_16-40-56_отчет_Рынок_БАС_2023_8.pdf (дата обращения: 12.01.2026).
6. Малафеев И.В., Егришин М.А., Савинков Н.Т., Скрипниченко Ю.С. Подходы к обоснованию способов группового применения беспилотных летательных аппаратов // Навигация, наведение и управление летательными аппаратами: тезисы докладов. М., 2024. С. 17–20.
7. Малафеев И.В., Скрипниченко Ю.С., Морина А.Р., Топоров Н.Б. Разработка модельно-методического аппарата формирования облика разведывательного беспилотного летательного аппарата: сборник тезисов докладов V Всероссийской научно-технической конференции «Моделирование авиационных систем», Москва, 2023. С. 34–35.
8. Скрипниченко Ю.С., Малафеев И.В., Егришин М.А., Мыскин Д.Н., Бурмистров Я.С. Модельно-методический аппарат формирования облика беспилотной авиационной системы, предназначенной для выполнения авиационно-химических работ: сборник тезисов докладов VI Всероссийской научно-технической конференции «Моделирование авиационных систем». ГосНИИАС, Москва, 2025.
9. Скрипниченко Ю.С., Малафеев И.В., Савинков Н.Т., Мыскин Д.Н., Чичин А.Н. Модельно-методический аппарат оценки эффективности беспилотной авиационной системы для выполнения задач метеорологической разведки в прибрежных зонах: сборник тезисов докладов VI Всероссийской научно-технической конференции «Моделирование авиационных систем». ГосНИИАС, Москва, 2025.
10. Топорова М.И., Калягин М.Ю., Малафеев И.В., Скрипниченко Ю.С., Топоров Н.Б., Вавилов Д.С. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024625705 Российская Федерация. Системная база данных демонстратора применения технологии проектирования БАС: № 2024625590: заявл. 27.11.2024: опубл. 04.12.2024. Заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт».
2. Toporov, N.B., Skripnichenko, Yu.S., Malafeev, I.V., Vavilov, D.S., Rusak, M.A. A situational modelling complex as the basis for a decision-support system in the field of aircraft construction under modern conditions. *Physical and Technical Informatics (CPT 2021–2022): Proceedings of the International Conference*. Pushchino, 2022. Pp. 114–119.
3. Zherebin, A.M., Toporov, B.P., Gorlov, V.M. Methodological foundations of the external design of aviation systems. *Proceedings of the Moscow Aviation Institute*. 2013. No. 69.
4. Decree of the Government of the Russian Federation No. 1630-p of 21 June 2023 'On the Approval of the Strategy for the Development of Unmanned Aviation in the Russian Federation for the Period up to 2030 and with a View to 2035, and the Action Plan for its Implementation'.
5. Analytical report on a study of the Russian civil market for unmanned aerial systems (UAS). 'Aeronest' Association. Moscow, 2023. URL: https://aeronext.aero/UserFiles/ContentFiles/2023-12-29_16-40-56_отчет_Рынок_BAS_2023_8.pdf (accessed on: 12.01.2026).
6. Malafeev, I.V., Egrishchin, M.A., Savinkov, N.T., & Skripnichenko, Yu.S. Approaches to justifying methods for the group deployment of unmanned aerial vehicles. *Navigation, Guidance and Control of Aircraft: Conference Proceedings*. Moscow, 2024. Pp. 17–20.
7. Malafeev, I.V., Skripnichenko, Yu.S., Morina, A.R., Toporov, N.B. Development of a modelling and methodological framework for designing the configuration of an unmanned reconnaissance aerial vehicle. *Proceedings of the 5th All-Russian Scientific and Technical Conference 'Modelling of Aviation Systems'*. Moscow, 2023. Pp. 34–35.
8. Skripnichenko, Yu.S., Malafeev, I.V., Egrishchin, M.A., Myskin, D.N., & Burmistrov, Ya.S. A modelling and methodological framework for the design of an unmanned aerial system intended for aerial chemical operations. *Proceedings of the 6th All-Russian Scientific and Technical Conference 'Modelling of Aviation Systems'*. GosNIIAS, Moscow, 2025.
9. Skripnichenko, Yu.S., Malafeev, I.V., Savinkov, N.T., Myskin, D.N., & Chichin, A.N. A modelling and methodological framework for assessing the effectiveness of unmanned aerial systems in carrying out meteorological reconnaissance tasks in coastal areas. *Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Technical Conference 'Modelling of Aviation Systems'*. GosNIIAS, Moscow, 2025.
10. Toporova, M.I., Kalyagin, M.Yu., Malafeev, I.V., Skripnichenko, Yu.S., Toporov, N.B., Vavilov, D.S. Certificate of state registration of database No. 2024625705, Russian Federation. System database of the demonstrator for the application of BAS design technology: No. 2024625590: applied for on 27 November 2024: published on 4 December 2024. Applicant: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education 'Moscow Aviation Institute'.