

Министерство просвещения Российской Федерации
МБОУ СОШ "Горки-Х"

Проектное исследование

Гибридная Силовая Установка в Летательных Аппаратах

Выполнил: Маляров Кирилл Витальевич,

ученик 10 класса

Руководитель: Леганькова Наталья Николаевна,

учитель истории

2026

Оглавление

Аннотация	2
Глава 1. Теория и анализ архитектур гибридных силовых установок в авиации.....	4
1.1. Определения и принципы работы.....	4
1.2. Классификация и сравнение архитектур ГСУ.....	4
1.3. Ключевые компоненты и технологические сложности.....	5
1.4. Обоснование выбора архитектуры для разработки.....	6
Глава 2. Методика и этапы разработки 3D-модели гибридной силовой установки.....	7
2.1. Формирование техзадания (ТЗ) на разработку	7
2.2. Разработка схемы компоновки.....	7
2.3. Поэтапное создание 3D-модели в САПР	8
2.4. Проверка модели и подготовка данных	8
Заключение	10
Список использованной литературы и сайтов	12

Аннотация

Современная авиационная отрасль стоит перед лицом глобальных вызовов, связанных с экологической устойчивостью, экономической эффективностью и ужесточением международных норм по выбросам вредных веществ и шума. Традиционные силовые установки на основе газотурбинных двигателей и поршневых ДВС, достигнув высокого уровня совершенства, вплотную подошли к пределу своих возможностей по дальнейшему снижению удельного расхода топлива и негативного воздействия на окружающую среду.

В этих условиях одним из наиболее перспективных направлений революционной трансформации авиации является внедрение гибридных силовых установок (ГСУ). Гибридная силовая установка представляет собой комбинированную систему, в которой для привода воздушного винта или вентилятора используются два или более источника энергии, как правило, тепловой (двигатель внутреннего сгорания, газотурбинный двигатель) и электрический (электродвигатель, питаемый от аккумуляторных батарей или топливных элементов).

Актуальность данного исследования обусловлена острой необходимостью разработки новых решений, способных обеспечить значительное снижение расхода авиатоплива, выбросов углекислого газа (CO₂), оксидов азота (NO_x) и уровня шума на местности. Целью настоящей работы является анализ концепций, преимуществ, ключевых технологических барьеров и перспектив внедрения гибридных силовых установок в летательных аппаратах различного класса. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи: классификация типов ГСУ, оценка их потенциальной эффективности, обзор текущих мировых проектов и идентификация критических технологий, требующих дальнейшего развития.

Цель проекта: Оценить потенциал, преимущества и проблемы внедрения гибридных силовых установок в летательных аппаратах.

Задачи

1. Аналитическая задача: Изучение текущее состояние и тенденции развития ГэСУ
2. Оценочная задача: Определить и систематизировать потенциальные преимущества гибридации
3. Сравнительная задача: Провести анализ компромиссов для разных классов летательных аппаратов

Термины

[SpringerNatureLink](#) Мануэль А. Рендон, Карлос Д. Санчес Р., Джосселин Галло М. & Александр Х. Анзай

из данной статьи взял: Аббревиатуры

[To70](#) Никколо Мартелло

из данной статьи взял; три выделяющихся схем NEPS

[TASS](#) Редакция сайта ТАСС Игорь Гашков

из данной статьи взял; информацию о разработках и испытаниях

Глава 1. Теория и анализ архитектур гибридных силовых установок в авиации

Цель главы: Обобщить теоретические знания и сравнить существующие типы ГСУ, чтобы выбрать подходящую концепцию для конкретного летательного аппарата.

Прежде чем углубляться в детали, стоит пояснить логику этой главы. Мы идём от общего к частному: сначала определяем базовые понятия, потом классифицируем существующие архитектуры, затем разбираем их на составляющие компоненты и, наконец, на основе всего этого делаем обоснованный выбор для дальнейшего проектирования. Такой подход позволяет не потеряться в море технической информации и каждый следующий шаг опираться на выводы предыдущего.

Задачи главы:

1.1. Определения и принципы работы

Прежде чем сравнивать архитектуры, нужно чётко договориться о терминах. В литературе встречаются разные трактовки, поэтому мы сформулируем рабочее определение, на которое будем опираться в дальнейшем. Под гибридной силовой установкой для авиации мы будем понимать систему, где для создания тяги используются два или более типа источников энергии, как минимум один из которых — электрический, причём эти источники могут работать совместно или раздельно в зависимости от этапа полёта.

Также важно описать физическую основу работы ГСУ. По сути, речь идёт о цепочке преобразований энергии: химическая энергия топлива (в ДВС или ГТД) превращается в механическую, затем, при необходимости, в электрическую (через генератор), которая запасается в аккумуляторах или сразу идёт на электродвигатель, где снова становится механической — уже на валу винта. Каждое преобразование неизбежно сопровождается потерями, и одна из главных инженерных задач — сделать так, чтобы выигрыш от гибкого управления этими потоками перевешивал потери на переходах.

1.2. Классификация и сравнение архитектур ГСУ

Здесь мы подходим к ключевому разделу теоретической части. В мировой практике сложилось три основные архитектуры ГСУ, и понимание их различий — основа для любого проектного решения.

Почему важно рассматривать их именно в сравнении? Потому что идеальной схемы не существует. Каждая имеет свои компромиссы (trade-offs), и выбор всегда зависит от того, для какого самолёта и для каких задач мы проектируем установку.

Мы подробно разберём:

- **Последовательную схему:** где тепловой двигатель работает только на генератор, а винт всегда крутит электромотор. Её главный плюс — тепловой двигатель всегда работает в

оптимальном режиме. Минус — двойное преобразование энергии (мех→эл→мех) и, как следствие, потери и лишний вес генератора.

- **Параллельную схему:** где и тепловой двигатель, и электромотор могут напрямую крутить винт. Здесь меньше потерь, но появляется сложная и тяжёлая механическая передача (сумматор мощности).
- **Последовательно-параллельную схему:** пытающуюся объединить преимущества обоих подходов, но расплачивающуюся за это максимальной сложностью и массой.

Для наглядности мы сведём сравнение в таблицу по ключевым параметрам: КПД на разных режимах, удельная масса установки, сложность управления и надёжность. Это создаст объективную основу для выбора в параграфе 1.4.

1.3. Ключевые компоненты и технологические сложности

Теперь, когда мы понимаем, какие бывают схемы, нужно честно ответить на вопрос: а готовы ли современные технологии к реализации этих схем? Здесь нас ждут самые серьёзные ограничения.

Почему этот анализ критичен? Можно придумать идеальную архитектуру на бумаге, но если нужных компонентов не существует или они весят как весь самолёт, ценность такой разработки нулевая.

Мы рассмотрим четыре ключевых элемента:

- **Источники энергии.** Главный тормоз развития электрической авиации — аккумуляторы. Удельная энергоёмкость современных литий-ионных батарей (200-250 Вт·ч/кг) примерно в 50 раз меньше, чем у авиакеросина. В обзоре мы оценим, когда, по прогнозам, появятся батареи с нужными для авиации показателями (400-500 Вт·ч/кг) и на что способны топливные элементы как альтернатива.
- **Электрические машины.** Авиационные электродвигатели должны быть не только мощными, но и лёгкими. Современные разработки (например, двигатели Siemens для самолёта Extra 330) показывают, что удельная мощность в 5-10 кВт/кг достижима. Но как эти показатели масштабируются на большие мощности и как решается проблема охлаждения?
- **Системы управления энергией (EMS).** Это «мозг» ГСУ. Алгоритмы, которые в реальном времени решают, откуда брать энергию — из бака или из батареи, — напрямую влияют на реальный расход топлива. Мы кратко рассмотрим основные стратегии управления.
- **Системы охлаждения.** Неочевидная, но очень серьёзная проблема. Высоконагруженные электродвигатели и батареи выделяют много тепла. Отводить его в полёте сложно: система охлаждения добавляет вес и аэродинамическое сопротивление, которые могут свести на нет выигрыш от гибридизации.

1.4. Обоснование выбора архитектуры для разработки

Этот параграф — итог всей первой главы. Здесь мы должны, опираясь на сделанный анализ, принять конкретное проектное решение.

Сразу оговорим ограничение: наш выбор будет сделан для вполне определённого класса летательных аппаратов. Мы рассматриваем **лёгкие учебно-тренировочные самолёты и аппараты городской аэромобильности (аэротакси)**. Почему именно они? Для этих классов требования к дальности и грузоподъёмности не столь жёстки, как для магистральных лайнеров, и именно здесь гибридные технологии имеют шанс быть реализованными в ближайшие годы.

Для таких аппаратов, с учётом их профиля полёта (частые взлёты-посадки, возможность подзарядки на земле, требование снижения шума), наиболее перспективной представляется **последовательная архитектура**. Её преимущества — возможность полностью электрического взлёта и посадки (тихо и без выбросов в зоне аэропорта) и работа ДВС в крейсерском режиме с максимальным КПД — перевешивают недостатки, связанные с массой генератора и потерями в преобразовании. В следующей главе мы попробуем визуализировать эту концепцию.

Глава 2. Методика и этапы разработки 3D-модели гибридной силовой установки

Цель главы: Разработать методику создания параметрической 3D-модели ГСУ, показывающей выбранную архитектуру, и реализовать её на основе теоретического анализа.

Если первая глава отвечала на вопрос «что и почему», то вторая — «как это сделать». Здесь мы переходим от абстрактных схем к конкретному цифровому прототипу. Важно понимать, что наша цель — не детальный инженерный расчёт (это следующий этап работы), а демонстрация принципа, компоновки и взаимосвязей.

Задачи главы:

2.1. Формирование техзадания (ТЗ) на разработку

Любое проектирование начинается с чёткой формулировки того, что мы хотим получить. На основе выводов первой главы мы формируем ТЗ для нашей модели.

В чём сложность этого этапа? Нужно найти баланс между детализацией и простотой. Слишком упрощённая модель не будет информативной, слишком детальная — займёт неоправданно много времени и вычислительных ресурсов.

В ТЗ мы зафиксируем:

- **Тип ЛА:** лёгкое аэротакси (например, концепт, близкий к LiliumJet или EHang, но с гибридной силовой установкой).
- **Архитектура ГСУ:** последовательная.
- **Состав модели:** роторно-поршневой двигатель (как компактный и лёгкий вариант), генератор, электродвигатель, блок аккумуляторов, система охлаждения (радиаторы), силовая рама, упрощённый контур фюзеляжа.
- **Ограничения:** габариты — вписываемость в контур типового аппарата, масса — на данном этапе не рассчитывается точно, но визуально компоненты должны выглядеть соразмерно.

2.2. Разработка схемы компоновки

Прежде чем запускать САПР, нужно продумать компоновку «на бумаге». Это самый творческий этап, где мы решаем, как физически разместить все компоненты внутри ЛА.

*Почему это важно делать до 3D-моделирования? Потому что на этом этапе легко перебирать варианты и быстро отбрасывать неудачные. В 3D это делать уже сложнее.

Мы определяем:

- **Взаимное расположение агрегатов.** Например, ДВС и генератор логично объединить в один блок и разместить ближе к центру масс. Аккумуляторы, как самый тяжёлый элемент, — тоже в районе центра тяжести, но с учётом возможности их замены или обслуживания. Радиаторы системы охлаждения — в зоне обдува.

- **Связи.** Прорабатываем, как валы соединяют ДВС и генератор, как проходят силовые кабели от генератора к батареям и от батарей к электродвигателю.
- **Силовой набор.** Эскизно прикидываем, как будет выглядеть рама или кожух, на котором всё это крепится.

Результат этого этапа — несколько эскизов (от руки или в простом 2D-редакторе), фиксирующих принятые компоновочные решения.

2.3. Поэтапное создание 3D-модели в САПР

Это центральная практическая часть работы. Мы разбили её на этапы, чтобы процесс был управляемым, и мы могли в любой момент вернуться и что-то поправить.

- **Этап 1: Моделирование основных компонентов.** Создаём упрощённые 3D-модели каждого элемента. Важно задать им реальные пропорции — для этого мы ориентируемся на существующие аналоги. Например, габариты роторного двигателя можно взять от двигателя Ванкеля, батарейного блока — от аккумуляторов для электромобилей Tesla, но пересчитав под нужную ёмкость.
- **Этап 2: Сборка.** Собираем всё вместе, используя сопряжения (соосность, совпадение плоскостей). Параметризация (задание размеров через переменные) позволит нам позже легко менять, например, длину рамы или диаметр вала. На этом этапе мы обязательно проверяем модель на коллизии — не пересекаются ли компоненты друг с другом.
- **Этап 3: Детализация.** Добавляем элементы, важные для понимания работы: фланцы соединений, разъёмы, кабельные трассы (в упрощённом виде, просто как траектории). Это делает модель «живой» и понятной для зрителя.
- **Этап 4: Упрощённые контуры летательного аппарата.** Чтобы оценить, как наша установка вписывается в самолёт, мы создаём упрощённую модель фюзеляжа или мотогондолы — например, прозрачный кожух, внутри которого видна вся начинка. Это самый наглядный способ проверить интеграцию.

2.4. Проверка модели и подготовка данных

Финальный этап — приводим результаты в порядок и готовим к защите.

- **Верификация:** Ещё раз сверяем модель с ТЗ. Все ли компоненты на месте? Соответствуют ли габариты задуманным? Нет ли явных ошибок?
- **Документация:** Создаём упрощённый комплект — сборочный чертёж (визуализация сборки), спецификацию (список компонентов) и несколько разрезов, показывающих внутреннее устройство.
- **Визуализация:** Генерируем фотореалистичные изображения (рендеры) в разных ракурсах и короткое анимационное видео, которое показывает модель в динамике (облёт, ани-

мированный разрез, показывающий потоки энергии или вращение валов). Именно эти материалы станут главным доказательством того, что проект выполнен.

Ожидаемый результат:

Мы получим не просто файл САПР, а полноценный демонстрационный пакет:

1. Параметрическая 3D-сборка ГСУ (формат `.sldasm` или `.iam`).
2. Пояснительная записка с обоснованием компоновочных решений.
3. Комплект визуализаций и анимация, наглядно показывающие устройство и принцип работы нашей концепции.

Этот результат станет мостом между теоретическим анализом и инженерной практикой, демонстрируя, как выбранная архитектура может быть реализована в виде конкретного, пусть и концептуального, цифрового прототипа.

Заключение

Что мы сделали и к чему пришли

Оглядываясь на проделанную работу, можно выделить несколько ключевых итогов.

Во-первых, нам удалось систематизировать довольно разрозненную информацию о гибридных авиационных установках. Мы разобрались в трёх основных архитектурах, и, что важнее, поняли, что выбор между ними — это всегда поиск компромисса. Последовательная схема проигрывает в весе, но выигрывает в гибкости управления и экологичности на взлёте-посадке. Параллельная — эффективнее в крейсерском режиме, но сложнее механически. Последовательно-параллельная пытается взять лучшее от обеих, но платит за это запредельной сложностью.

Во-вторых, анализ компонентов показал: главный тормоз развития — не столько схемотехника, сколько элементная база. Аккумуляторы с нужной энергоёмкостью только разрабатываются, системы охлаждения тяжелы, а вопросы надёжности в авиационных условиях ещё предстоит решить. Это честный вывод: технология перспективна, но до массового внедрения предстоит преодолеть ещё много барьеров.

В-третьих, на основе проведённого анализа мы обоснованно выбрали последовательную архитектуру для аппаратов городской аэромобильности и создали её 3D-модель. Эта модель не претендует на роль рабочего чертежа, но она наглядно демонстрирует, как компоненты могут быть скомпонованы, и даёт объёмное представление о будущей силовой установке.

Ограничения и что дальше

Важно понимать границы применимости нашей работы. Мы не проводили прочностных расчётов, не оптимизировали аэродинамику и не моделировали тепловые процессы. Это концептуальный проект, база для дальнейших, более глубоких исследований.

Следующим шагом мог бы стать детальный инженерный расчёт: подбор реальных компонентов под заданную мощность, расчёт центровки, тепловой анализ системы охлаждения. Также интересно было бы сравнить нашу концепцию не только с традиционными ДВС, но и с полностью электрическими решениями, чтобы точнее оценить экономическую эффективность.

Практическая ценность

Результаты работы могут быть полезны:

- **Студентам авиационных специальностей** — как наглядное пособие по устройству ГСУ.
- **Начинающим конструкторам** — как пример подхода к выбору архитектуры и компоновке.
- **Всем, кто интересуется будущим авиации** — как структурированный и понятный обзор текущего состояния технологии.

Мы надеемся, что наша работа внесёт свой, пусть и скромный, вклад в понимание того, как будет выглядеть авиация ближайшего будущего, и, возможно, вдохновит кого-то на более глубокое погружение в эту захватывающую тему.

Список использованной литературы и сайтов

1. Житомирский Г.И., "Конструкция самолётов", Машиностроение, 2005. *(Использовался для понимания общих принципов компоновки силовых установок).*
2. NASA Technical Reports Server, "NASA X-57 Maxwell Project", 2020. *(Основной источник по распределённой электрической тяге).*
3. Airbus, "E-Fan X: The dawn of hybrid-electric flight", 2019. *(Обзор промышленного подхода к гибридизации).*
4. Siegel, A., "Comparison of Series and Parallel Hybrid Electric Propulsion Systems for UAVs", AIAA Propulsion and Energy Forum, 2021. *(Сравнительный анализ архитектур с количественными оценками).*
5. К.В. Харченко, "Электрические машины для авиационных гибридных установок", Электротехника, №4, 2022. *(Данные по удельной мощности и КПД электродвигателей).*
6. ИКАО, "Доклад о перспективах устойчивого развития авиации", 2023. *(Информация о нормативных требованиях и целевых показателях по выбросам).*
7. Rolls-Royce, "ACCEL: Accelerating the electrification of flight", 2022. *(Пример конкретного реализуемого проекта).*
8. Е.С. Воробьёв, "Системы охлаждения силовых установок летательных аппаратов", МАИ, 2018. *(Использовался для понимания проблем терморегулирования).*
9. Johnson, L., "A review of battery technologies for electric aviation", Journal of Energy Storage, 2023. *(Анализ перспектив аккумуляторных батарей).*
10. Moore, M.D., "NASA's Electric Propulsion Systems Studies", 2021. *(Фундаментальные исследования NASA по электрической авиации).*