



**АО Московский научно-производственный комплекс
«АВИОНИКА» имени О.В. Успенского**

В.С. Кулабухов
главный конструктор направления

Перспективные скоростные вертолёты: задачи и вызовы для систем управления полётом

6-я научно-практическая конференция «Авиационное бортовое
оборудование», г. Москва, HeliRussia 2018 , 24 мая 2018 г.



ЭВОЛЮЦИЯ ВЕРТОЛЕТОВ И ИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Качественное отличие современного этапа эволюции вертолетов связано с массовым созданием нового поколения, отвечающих критериям, совокупность которых можно условно обобщить в форме «парадигмы 3-х С»: **скорость, скрытность, сеть**. Скоростные аппараты строятся как по классической вертолетной схеме, так и по сложным комбинированным схемам конвертопланов.

Под «сетью» понимается сетевое взаимодействие рассредоточенных (распределенных) в пространстве сил (вертолетов) и средств (управления и воздействия).

Указанные критерии напрямую влияют на эффективность **одиночного и группового** применения вертолетов в специальных режимах, совокупность которых определяется термином «боевая навигация», **и одновременно** формируют вызовы и постановки задач для создания новых систем управления полетом.

Актуальной задачей для систем управления вертолетов, отвечающих указанным критериям, является переход от гидромеханических систем управления (ГМСУ) к системам дистанционного управления (СДУ) и, в целом, к многоуровневым цифровым комплексным системам управления (КСУ).



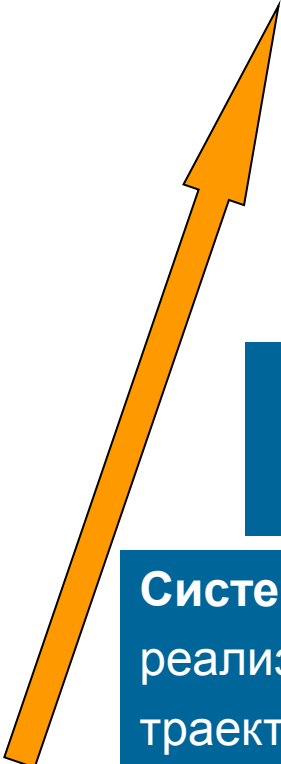
Вызовы:

- 1) повышение динамики действий, влекущее сокращение времени готовности к вылету;
- 2) повышение психофизиологической загрузки экипажа на высоких скоростях полета
- 3) повышение эксплуатационной технологичности системы управления, упрощение логистики;
- 4) упрощение пилотирования, унификация пилотажных навыков, повышение комфорта управления вертолетом;
- 5) сокращение времени и затрат на разработку систем управления полетом пилотируемых, беспилотных, опц.-беспилотных (пилотируемых) вертолетов;
- 6) сокращение времени и затрат на разработку систем управления ЛА нетрадиционных компоновок (мультикоптеров, конвертопланов, «лет-х такси»...);
- 7) гибкость наращивания функций и решаемых задач;
- 8) «бесшовное» встраивание системы управления вертолетом в общую систему управления строем, тактической группой, тактикой одиночного и группового специального маневрирования в сетцентрической системе (по принципу «скорость-скрытность-сеть»)

Задачи для систем управления:

- 1) сокращение времени подготовок к полету, замены отказавшего оборудования, автоматизация логистики
- 2) активное обеспечение безопасности полетов на высоких скоростях (применение СОС, ОПР, СИПЭ)
- 3) снижение номенклатуры запчастей (ИМА, РИМА); унификация, модульность и открытость архитектур; отсутствие наземной КПА; интеграция с БСТО;
- 4) совершенствование законов системы электро(опто)-дистанционного управления (СДУ) и КСУ в целом;
- 5) унификация систем управления полетом пилотируемых, беспилотных и опционально-беспилотных (пилотируемых) вертолетов;
- 6) унификация систем управления полетом вертолетов и ЛА нетрадиционных компоновок (мультикоптеров, конвертопланов, «летающих такси»...);
- 7) возможность модернизации КСУ путем перепрошивки версий ПО без замены установочного оборудования;
- 8) разработка программных изделий (ИФОС типа СПМО-52) для встраивания вместе с КСУ вертолета в иерархию управления строем, группой, тактикой специального маневрирования в сетцентрической системе (по принципу «скорость-скрытность-сеть»)

Эволюция средств автоматизации управления полетом



Комплексные системы управления полётом (КСУ), реализующие полный состав функций САУ, СДУ, систем ограничительных сигналов (СОС), систем активного ограничения предельных режимов (ОПР) и интеллектуальной поддержки экипажа (СИПЭ).

Системы дистанционного управления (СДУ)

Системы автоматического управления (САУ), реализующие функции автопилота и систем траекторного управления.

Автопилоты (АП) с последовательными РМ, выполняющие не только функции демпфирования по трем осям, но и стабилизацию заданных углов тангажа, крена и курса.

Демпферы тангажа, крена и рыскания с параллельными рулевыми машинками (РМ).



Опыт АО МНПК «Авионика»

Вертолёт

Создано более 10 типов автопилотов, САУ, СДУ для всех наиболее известных вертолётов СССР и России (от автопилотов АП-31 для вертолёт Ми-4, АП-34Б для Ми-8 и его модификаций, ВУАП и САУ-24 для Ми-24 до систем СДУ-А и КСУ-А для вертолёт «АНСАТ» и вычислителей траекторного управления ВТУ-123 и ВТУ-154 для вертолёт Ми-172).



- Автопилот АП-34Б
- Система стабилизации оборотов винта СОВ

Ми-6, Ми-10, Ми-10К



- Автопилот АП-44
- Система стабилизации оборотов винта СОВ

Ми-12



- Автопилот АП-34Б
- Система управления подвижными упорами СПУУ

Ми-8, Ми-17Н, Ми-171Ш1



- Автопилот ВУАП
- Система автоматического управления САУ-24

Ми-24П

Системы и изделия, разработанные в АО МНПК «АВИОНИКА», установлены более чем на 200 типах российских военных, гражданских самолетов, вертолетов и авиационных ракет.



КСУ и системы автоматизации для вертолетов

Комплексная система управления КСУ-А для вертолётА АНСАТ



Первая в мире, прошедшая процедуру сертификации, система, обеспечивающая электродистанционное управление приводами несущего и рулевого винтов.

Обеспечивает требуемые характеристики устойчивости и управляемости на всех этапах полета вертолётА от взлета до посадки в соответствии с требованиями АП-29 и FAR-29



Простота пилотирования с использованием СДУ обеспечила выбор вертолета «АНСАТ-У» в качестве учебного для ВВС России. Поставки «АНСАТ-У» осуществляются с конца 2010 г.



КСУ для перспективного вертолета соосной схемы

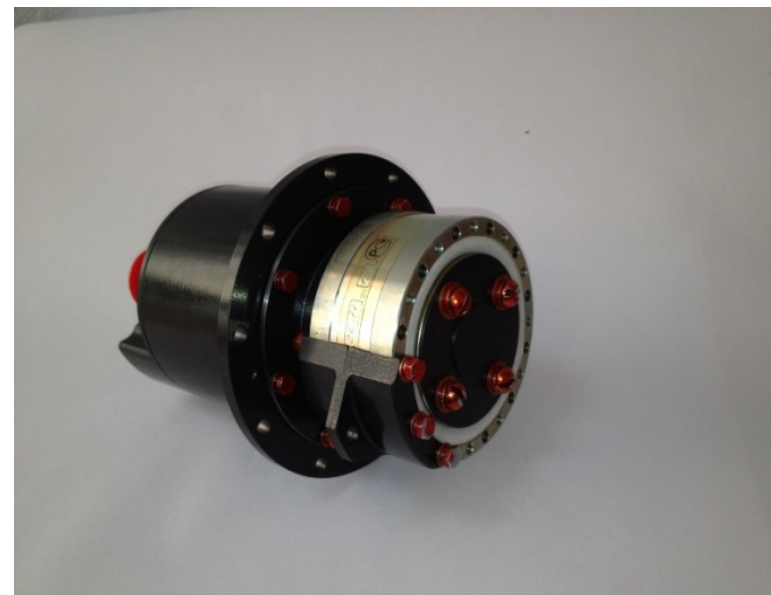
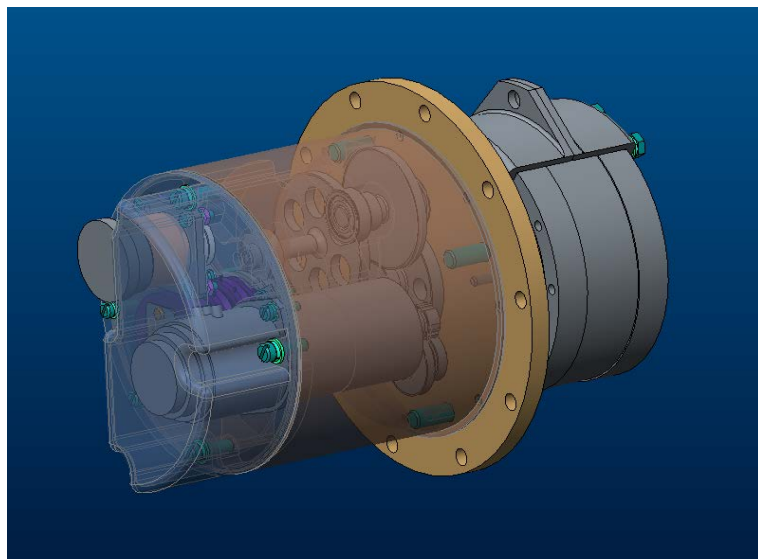
Проект КСУ для перспективного скоростного вертолета

СПМО управления вертолетом и оружием в специальных режимах применения одиночных и групп вертолётА («Боевая навигация»)



Электромеханический привод управления колонкой НВ вертолета

Привод автомата перекоса для беспилотного вертолета



Скорость выходного звена под нагрузкой 70 нхм, °/сек	170
Рабочий ход, град	±45
Напряжение питания, В	27
Габариты, мм	167×92×92
Масса, кг	3,5



Активная боковая ручка управления для кабины с двумя постами (АРУС-2П)



Четырежды резервированная боковая ручка электродистанционного управления предназначена для формирования электрических управляющих сигналов, пропорциональных углам отклонения ручки по тангажу и/или крену

Технические характеристики:

Максимальные развиваемые усилия на выходном рычаге (ВР) в точке, отстоящей от центра вращения ВР на 110 мм:

- в продольном направлении – 10 кгс;
- в боковом направлении – 6 кгс.

Диапазоны углов отклонения ВР:

- в продольном направлении – $\pm 15^\circ$;
- в боковом направлении – $\pm 15^\circ$.

Максимальная скорость отклонения ВР от ЭМП – $\pm 30^\circ/\text{с}$.

Габариты: 240x150x290

Масса: не более 10 кг

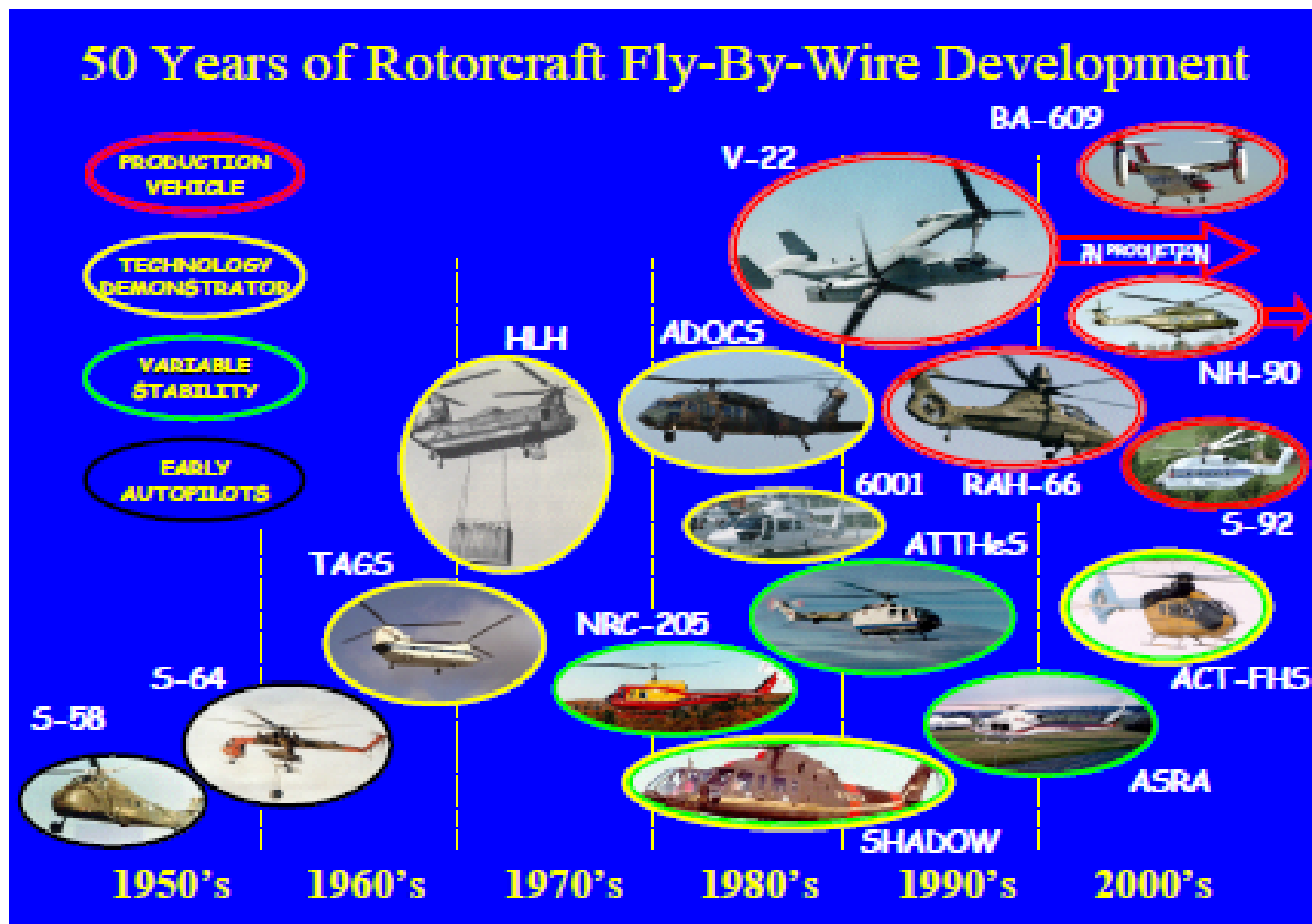
Напряжение питания: 27 В

С целью улучшения восприятия летчиком управляемости объекта боковая ручка снабжена электромеханическим загрузочным устройством, обеспечивающим оптимальные загрузочные характеристики в различных режимах полета.

Наличие электроприводов обеспечивает возможность ввода дополнительных обратных связей по текущим параметрам полета и синхронизации работы ручек управления без механических связей при совместном управлении полетом двумя летчиками.

Опытные образцы вертолётов с СДУ (fly-by-wire system)

В целом, за рубежом создано порядка 30-ти опытных и серийных вертолетов и конвертопланов с СДУ

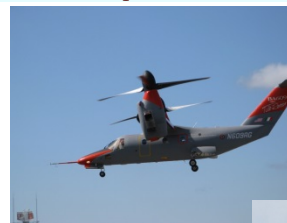
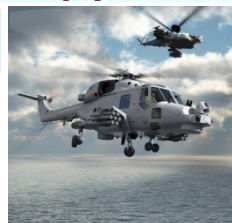


Современные и перспективные зарубежные вертолёты с СДУ

Вертолёты Agusta Westland с СДУ

AW 159 Future Lynx

AW-609— конвертоплан



Вертолёты Eurocopter с СДУ

NH90 — многоцелевой вертолёт

Eurocopter X4 — гражданский вертолёт

Вертолёты Bell с СДУ

Bell 525 Relentless; конвертоплан V-280 Valor

Bell 412 ER - для отработки СДУ Bell 525



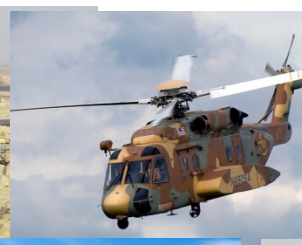
Вертолёты Sikorsky с СДУ

Sikorsky UH-60M Black Hawk

Sikorsky MH-92 Superhawk

Sikorsky CH-53K Super Stallion

Sikorsky CH-148 Cyclone



Sikorsky S-97 Raider — скоростной вертолёт

Sikorsky X2— эксперим.вертолёт



Boeing и Sikorsky Aircraft

SB-1 Defiant по программе Joint Multi-Role ---- Future Vertical Lift на базе Sikorsky X2

Вертолёты КНР с СДУ

Совместно с РФ на базе H425 Dauphin (Франция)

Статус ЭСУ-В:
отработка на
стенде



Актуальное направление развития систем управления вертолётот

Таким образом, общей мировой тенденцией в вертолётостроении является переход от гидромеханических систем управления к СДУ.

В последние два десятилетия все основные производители вертолётот – Sikorsky, Bell, Eurocopter и AgustaWestland – проводят НИОКР с целью сертификации технологии СДУ для вертолётот.

Технология дистанционного управления упростит пилотирование, освободит пилотов для решения целевых задач и облегчит техническое обслуживание вертолётот (на основе стратегии эксплуатации по техническому состоянию с переходом в перспективе к «необслуживаемой» авионике и/или предиктивному (упреждающему) техническому обслуживанию).

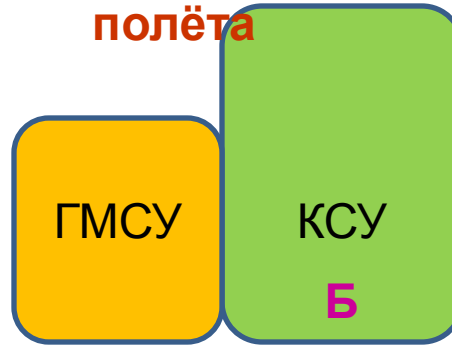
В настоящее время наличие на вертолётоте СДУ рассматривается в качестве важнейшего конкурентного преимущества.

Преимущества КСУ

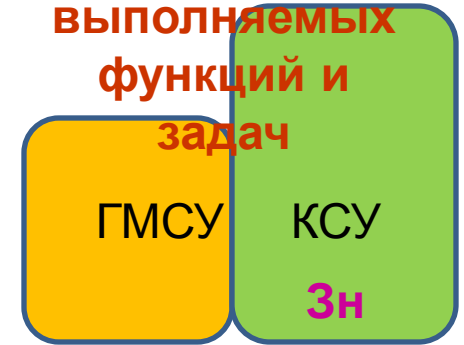
Упрощение
пилотирования
и комфорт
управления



Безопасность
полёта



Гибкость
наращивания
выполняемых
функций и
задач

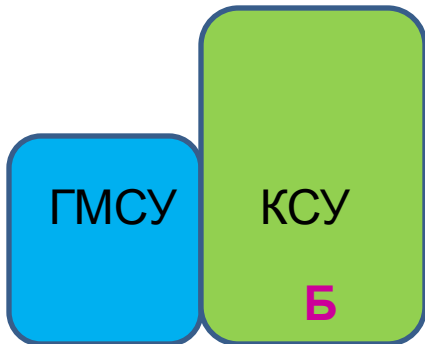


ГМСУ – гидромеханическая система управления

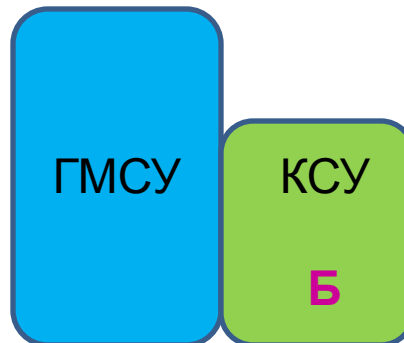
КСУ – комплексная система управления с встроенной СДУ

Превосходство: Зн – значительное (десятки %); Б – большое (100% и более);
А – абсолютное (в разы).

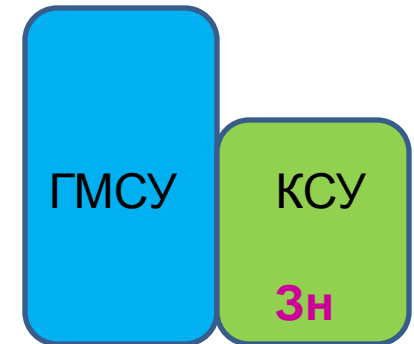
Эксплуатационная
технологичность



Масса и габариты



Стоимость
ЖЦ



Проблемы внедрения СДУ на вертолётах

Существует психологический барьер перед внедрением СДУ на вертолётах в силу их существенной специфики.

Можно ожидать, что в близкой перспективе он будет устранён: этому будет способствовать появление гражданских вертолётов с СДУ за рубежом, а также накопление опыта эксплуатации самолётов и вертолетов с СДУ.

По представлениям противников СДУ существует риск не выдерживания сроков поставки вертолётов заказчикам (например, из-за сложностей разработки и сертификации вертолёта с СДУ). Отрицательные примеры такого рода существуют (СН-148 «Циклон» - из-за проблем интеграции системы управления полетом компании «Дженерал Дайнемикс» на борт вертолета. Предположительно из-за использования устаревшей концепции ИМА).

Считается, что СДУ влечёт рост стоимости вертолёта

Научные исследования и разработки в области СДУ стоят дорого, особенно в гражданской сфере, где технология подлежит сертификации. **Вместе с тем, по заявлениям представителей компании Sikorsky, «стоимость скоростного вертолета S-97 Raider может быть существенно снижена из-за внедрения технологии СДУ».** Развитие технологий СДУ, активного подавления вибраций и производства жестких лопастей по их мнению обеспечит снижение стоимости вертолета в серии более чем в 2 раза – с 40 до 15 млн. \$.^[1]

Проблема обеспечения надёжности и отказобезопасности

По мнению специалистов компании Sikorsky ^[2] надёжность СДУ сама по себе не является предметом спора. В сравнении с традиционной системой управления полетом СДУ лучше с точки зрения отсутствия нерезервированных механических деталей. “Здесь меньше возможностей отказа системы в целом вследствие отказа одного элемента. **Проблема в том, что такая сложная система требует для своей сертификации проведения значительного анализа**”.

В компании Eurocopter также основной **проблемой** считают не саму надёжность СДУ, а **доказательство ее надёжности.**

[1] http://vpk.name/news/85981_heliexpo_2013_sikorsky_aircraft_ozvuchila_stoimost_s97.html

[2] Fly-by-ware // “Rotor & Wing”, сентябрь 2010, С. 38-42

Решение проблем внедрения СДУ и КСУ на вертолётах

Проблемы применения СДУ на вертолётах могут быть решены путём проведения комплекса мероприятий организационного и технического характера:

- выбор опытного разработчика КСУ, позволяющего устранить технические риски;
- выбор рациональной структуры КСУ, стратегии обособления критичных функций управления и автоматической реконфигурации режимов и программно-аппаратных ресурсов;
- привлечение специалистов сертифицирующих органов на ранних стадиях проектирования;
- заблаговременное проведение «сопровождающих» НИР для предварительного компьютерного прототипирования и отработки критических технологий.

Следует рассматривать и «обратный» риск, связанный с усложнением продвижения вертолётов без СДУ на рынок. Судя по тенденциям, разработки перспективных вертолётов за рубежом уже не мыслятся без СДУ. Это может привести к тому, что отечественные вертолёты будет сложно предлагать своим заказчикам и на зарубежные рынки при отсутствии СДУ, придающей им новые потребительские качества.

В целом, указанные трудности связаны с «проблемами роста» нового подхода к управлению вертолётами и с лихвой компенсируются преимуществами применения СДУ.

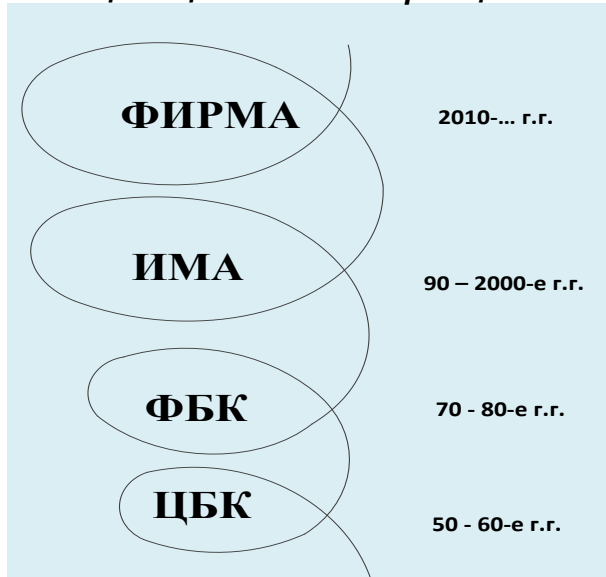
ОБЛИК КСУ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВЕРТОЛЕТОВ

КСУ относятся к «системам с полной ответственностью» за безопасность полётов.

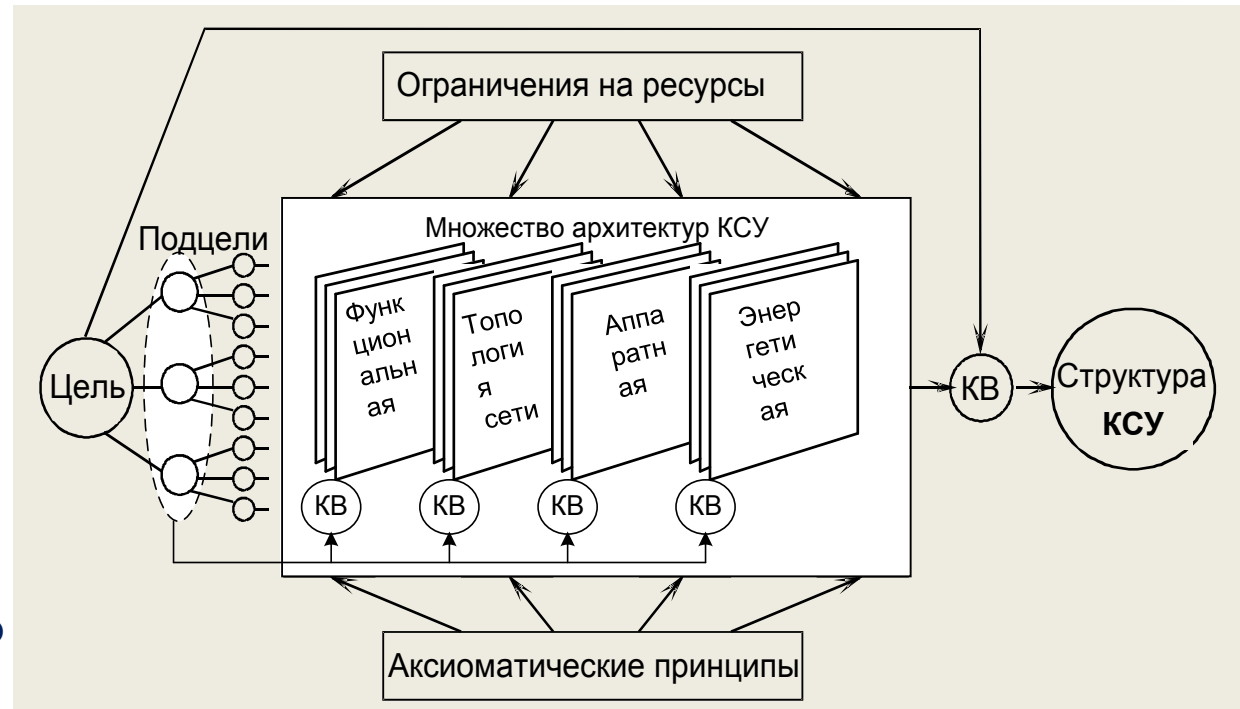
Главными требованиями к ним являются высокая надёжность и отказобезопасность.

Эволюция концепций и технологий системного проектирования

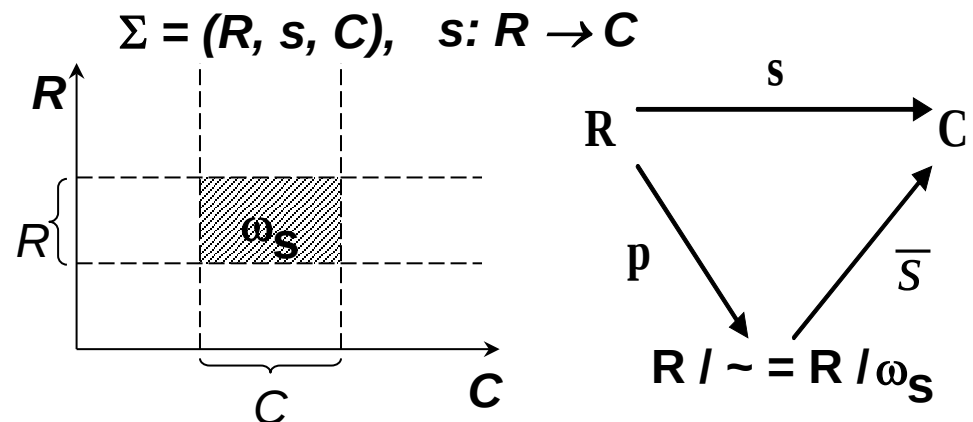
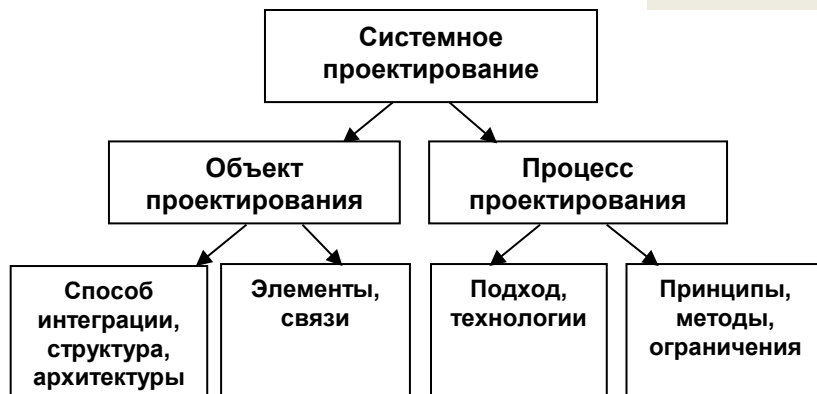
Концепции интеграции КБО



Подход к проектированию – телеоцентрический (от греч. telos – конец, цель)



Содержание системного проектирования

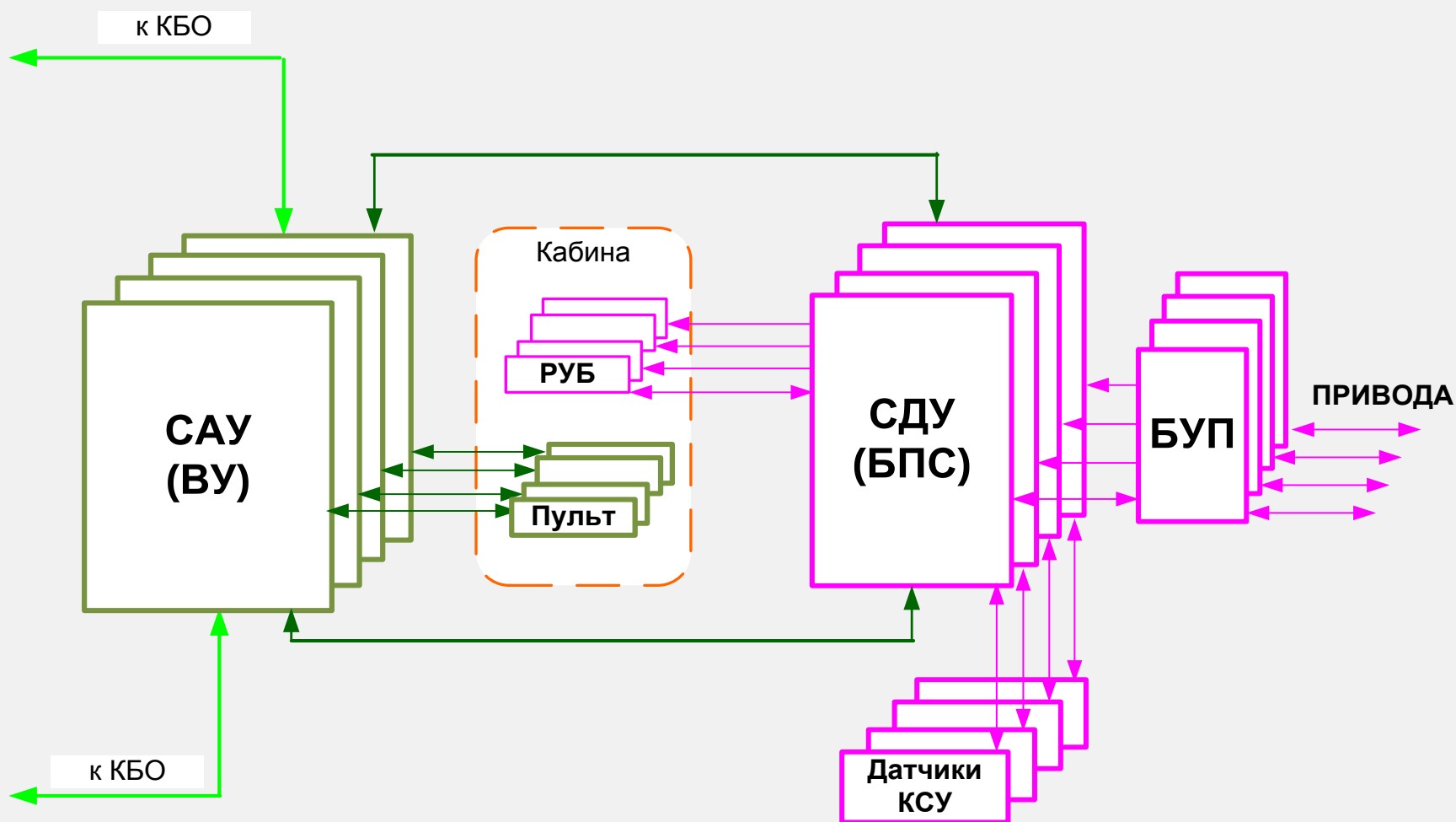


Подход обоснован как теоретически, так и апробирован практически

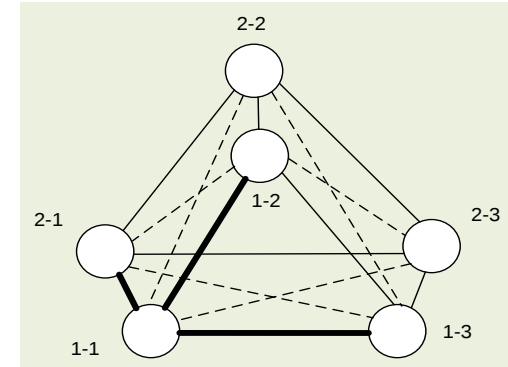
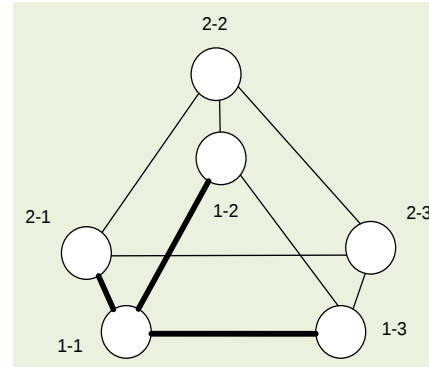
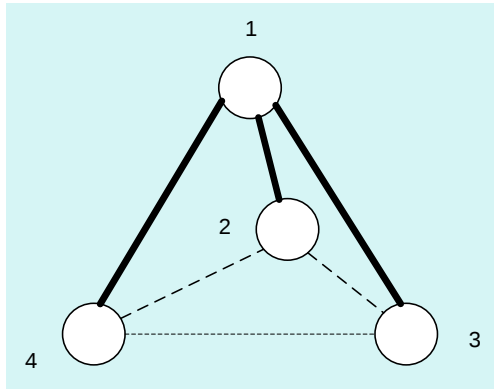
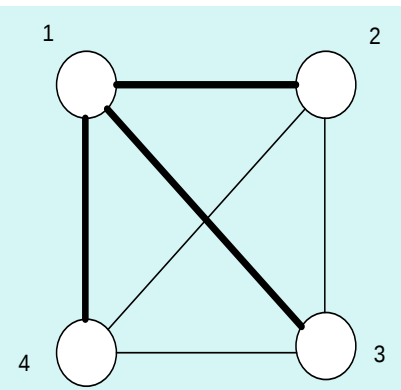
Обобщённая архитектура (топология) БРВС КСУ вертолета

Для КСУ преобладающим должен являться **принцип автономии по всем видам ресурсов**, как системы с полной ответственностью за безопасность полётов.

Внутри КСУ для резервного режима (прямого) управления целесообразна **дополнительная внутренняя полная автономия**. На этот режим “наслаиваются” все другие режимы управления, реализующие функции СДУ, ОПР и САУ.

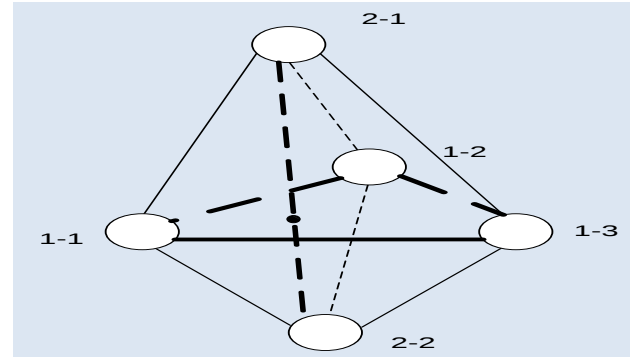
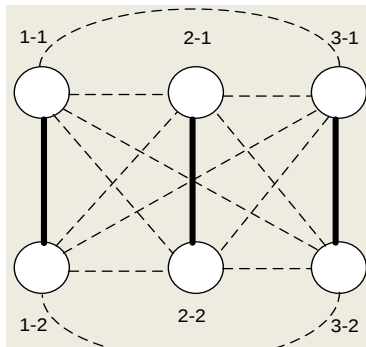
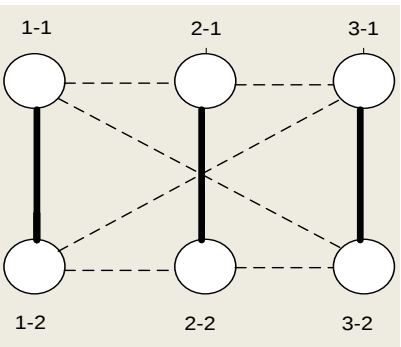


Топологии ядра БРВС КСУ



Два крейта по два резерва (один крейт – четыре резерва)

Два крейта по три резерва (две «триады» вычислителей)

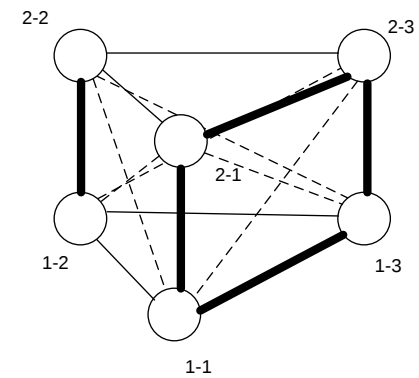
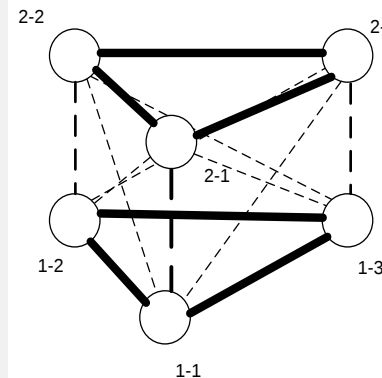


Универсальный вариант: один резерв – один крейт. Из таких резервов-крейтов «набирается» нужная топология с учётом требований по отказобезопасности и живучести КСУ.

Три «двуады» вычислителей-резервов

«Триада» + «двуада» вычислителей-резервов

Общая задача: при заданной «отказобезопасности» конфигурации непланарного графа (держать требуемое число «отказов» вершин-узлов и/или рёбер-связей без потери функций) и при требуемой живучести моделируемой им системы (например, разбиение общего числа вершин-узлов должно содержать не менее двух групп-крейтов вершин-узлов) требуется найти оптимальное (минимальное) число вершин-узлов (резервов-вычислителей) и рёбер-связей между ними, а также - оптимальную раскраску, т.е. разбиение рёбер и граней на группы.



Пример разбиения вершин графа на группы

Актуальные направления научных разработок по КСУ вертолетов

- Управление электрогидравлическими и электромеханическими приводами колонки НВ и приводом РВ с использованием сложных моделей приводов и БУП
- Индивидуальное управление лопастями НВ
- Автоматическое и автоматизированное управление вертолетом с грузом на внешней подвеске в различных режимах перемещения и позиционирования груза
- Логика и алгоритмы активных ОПР для разных уровней КСУ (СУПР, СДУ, САУ, СИПЭ)
- СИПЭ в сложных и опасных ситуациях пилотирования
- СИПЭ при одиночном и групповом тактическом маневрировании и целевом применении
- Нормирование пилотажных характеристик вертолетов с СДУ
- Активные боковые ручки управления и логика их применения экипажем
- ЭМП винтов и их модели
- Бесконтактные цифровые датчики и их модели (энкодеры на индуктосинах...)
- Автоматически реконфигурируемая необслуживаемая и предиктивно обслуживаемая авионика

Разработка цифровых КСУ с встроенной СДУ является главным направлением развития современных систем управления вертолетов.

Цифровые КСУ, наряду с обеспечением простого и безопасного управления вертолётom на основе СДУ, СОС, СИПЭ и активных ОПР, позволяют реализовать прогрессивные парадигмы их технического обслуживания и сопровождения на всех стадиях интегрированного жизненного цикла.

При разработке КСУ для вертолётom целесообразно применять целецентрический подход как к организации её взаимодействия с экипажем в эргатическом КБО с учетом возможного опционально беспилотного применения вертолета, так и при оптимизации структуры на основе системного анализа всей совокупности относительно независимых, но взаимосвязанных архитектур, характеризующих различные используемые ресурсы (функциональные, программные, информационно-коммуникационные, аппаратные, энергетические).

К настоящему времени созданы все условия для внедрения СДУ на вертолетах, а применительно к скоростным вертолетам, удовлетворяющим «парадигме 3-х С», использование на них СДУ и, в целом, КСУ с функциями интеллектуальной поддержки в пилотируемом режиме и интеллектуального управления в беспилотном режиме становится практически безальтернативным. Для решения различных целевых задач в рамках «парадигмы 3-х С» предполагается тесная интеграция КСУ, информационно-управляющей системы (ИУС) и, в целом, комплекса бортового оборудования (КБО) в структуре бортовой авионики вертолета.



Наши контакты



**Акционерное общество
Московский научно-производственный
комплекс «Авионика» имени О.В. Успенского
(АО МНПК «АВИОНИКА»)**

Россия, 127055, Москва, ул. Образцова, 7

тел.: (495) 771-66-09

факс: (495) 775-36-79

e-mail: avionika@mnpk.ru

http:// www.mnpk.ru

Контактное лицо:

Кулабухов Владимир Сергеевич

тел.: +7-985-410-19-36, +7-965-119-40-38

E-mail: nit@mnpk.ru ; kulabuhov@mnpk.ru