

Заседание Комитета Союза Машиностроителей 18.03.2019

---

«Математическое и полунатурное моделирование изделий  
ВиВТ на всех этапах жизненного цикла:  
Нормативное, методическое и техническое обеспечение»

---

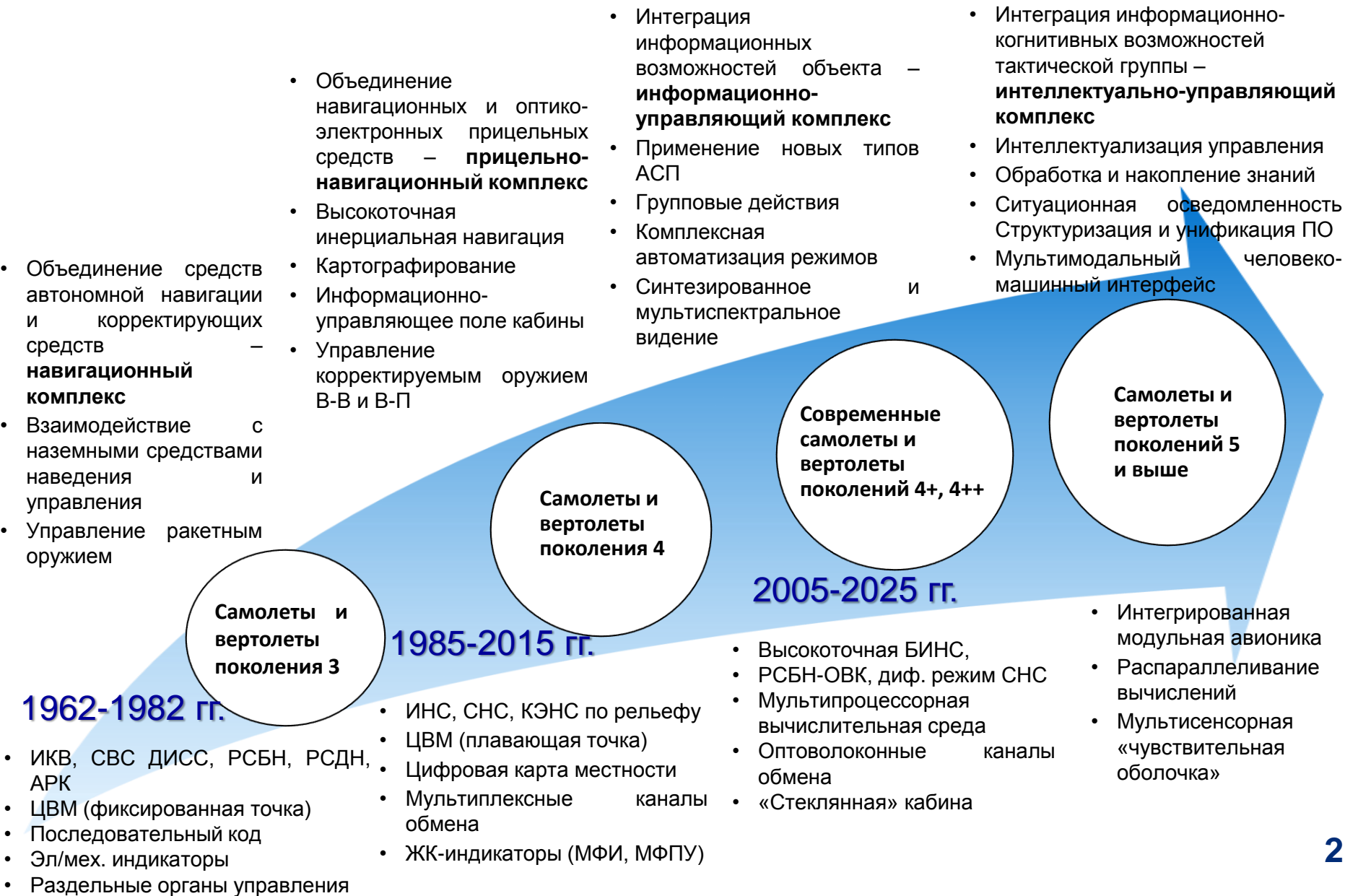
**МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСОВ  
БОРТОВОГО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
БОЕВЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

---

д.т.н., профессор Джанджгава Г.И.  
д.т.н., профессор Орехов М.И.  
д.т.н. Бабиченко А.В.

---

# Развитие бортового оборудования разных поколений: ограничения, задачи, особенности, объекты применения



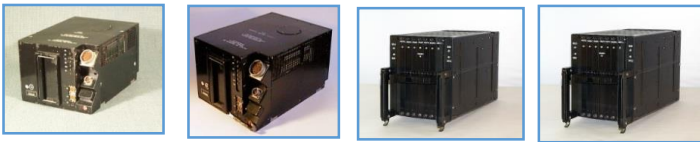
## КОМПЛЕКС БРЭО



### Информационно-управляющее поле кабины



### Информационно-вычислительная среда



### Измерительные и исполнительные системы (системы прицельные, навигационные, управления)



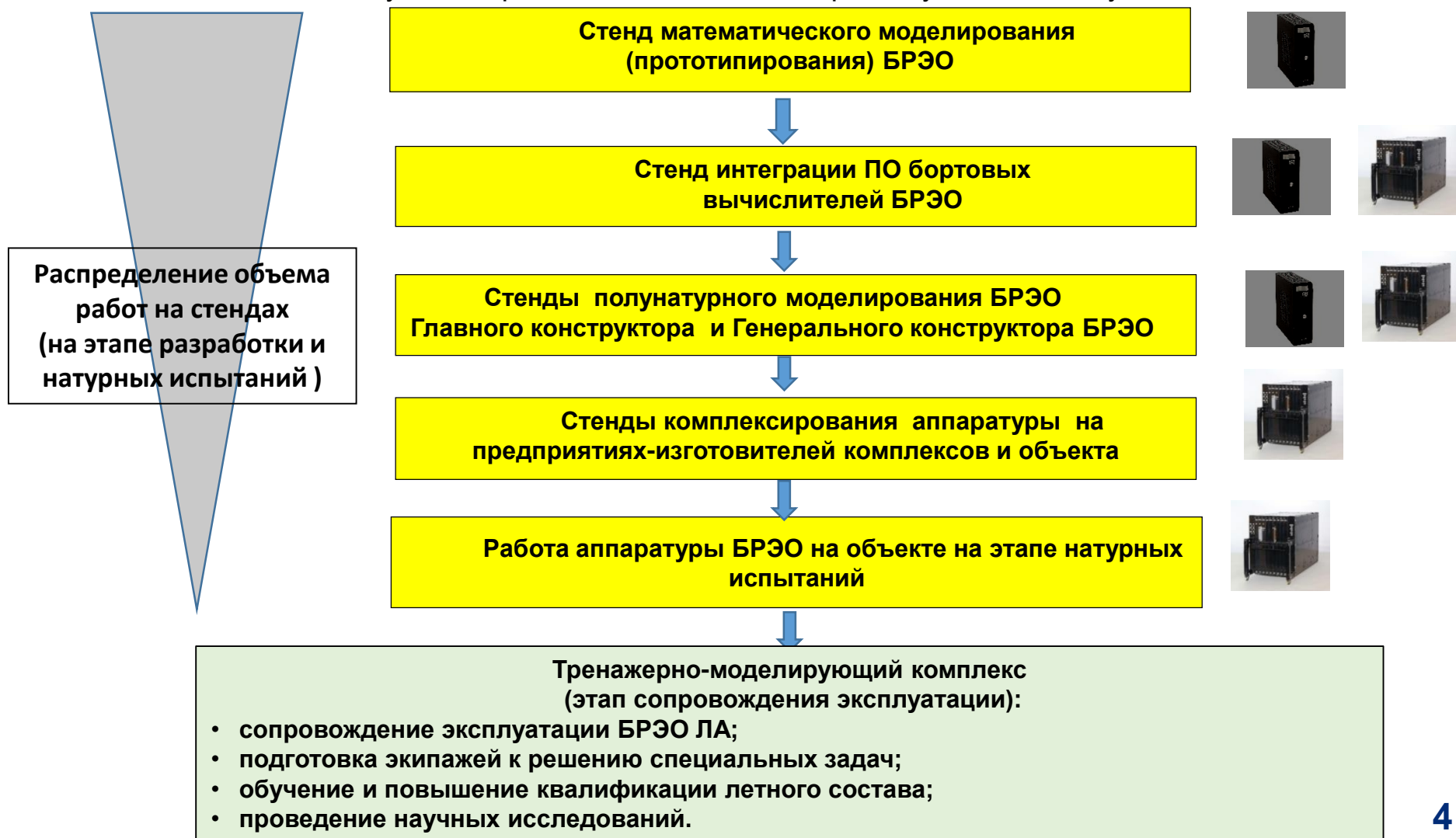
• В составе комплекса БРЭО ЛА 4-го и 5-го поколения обязательно имеются следующие основные компоненты:

- ✓ многофункциональные индикаторы и пульта;
- ✓ многопроцессорные центральные БЦВМ (4 поколение) и БЦВМ на базе ИМА (5 поколение);
- ✓ интерфейсные линии связи (МКИО, ДПК – в комплексах 4 и 4+, FC, ARINC 818, ARINC 825 – в комплексах 5 поколений);
- ✓ различные коммутаторы высокоскоростных интерфейсных линий;
- ✓ концентраторы;
- ✓ системы связи;
- ✓ навигационные и прицельные системы;
- ✓ системы автоматического управления;
- ✓ системы управления оружием;
- ✓ общесамолетные / общевертолетные системы.

• Вся **аппаратура компонентов современных БРЭО** содержит: ПЛИСы, микроконтроллеры, вычислительные модули – и требует специальных методов отладки, поскольку в ее состав вводится **программное обеспечение (ПО)** – дополнительная составляющая БРЭО, роль которой возрастает.

• Для совместной отработки аппаратуры БРЭО, интерфейсных информационных каналов, ПО **необходима** специальная наземная **аппаратура**, воспроизводящая (моделирующая) внешние **информационные связи и воздействия** на функционирование БРЭО в реальных условиях полета ЛА.

Разработка новых или модернизация современных комплексов БРЭО требует создания опережающего научно-технического задела в части инструментальной моделирующей базы, обеспечивающей поэтапную интеграцию компонентов и отработку в наземных условиях.



**Жизненный цикл образца АТ – это строгая последовательность следующих стадий и этапов:**

стадия 1 – научные исследования (**этапы:** НИР,

аванпроект,

разработка ТЗ на ОКР);

стадия 2 – ОКР (**этапы:** эскизное проектирование (ЭП),

техническое проектирование (ТП),

разработка рабочей конструкторской документации (РКД),

изготовление опытного образца,

наземные испытания,

летные испытания);

стадия 3 – серийное производство (**этапы:** освоение,

поставка БРЭО,

установка БРЭО на ЛА,

войсковые испытания);

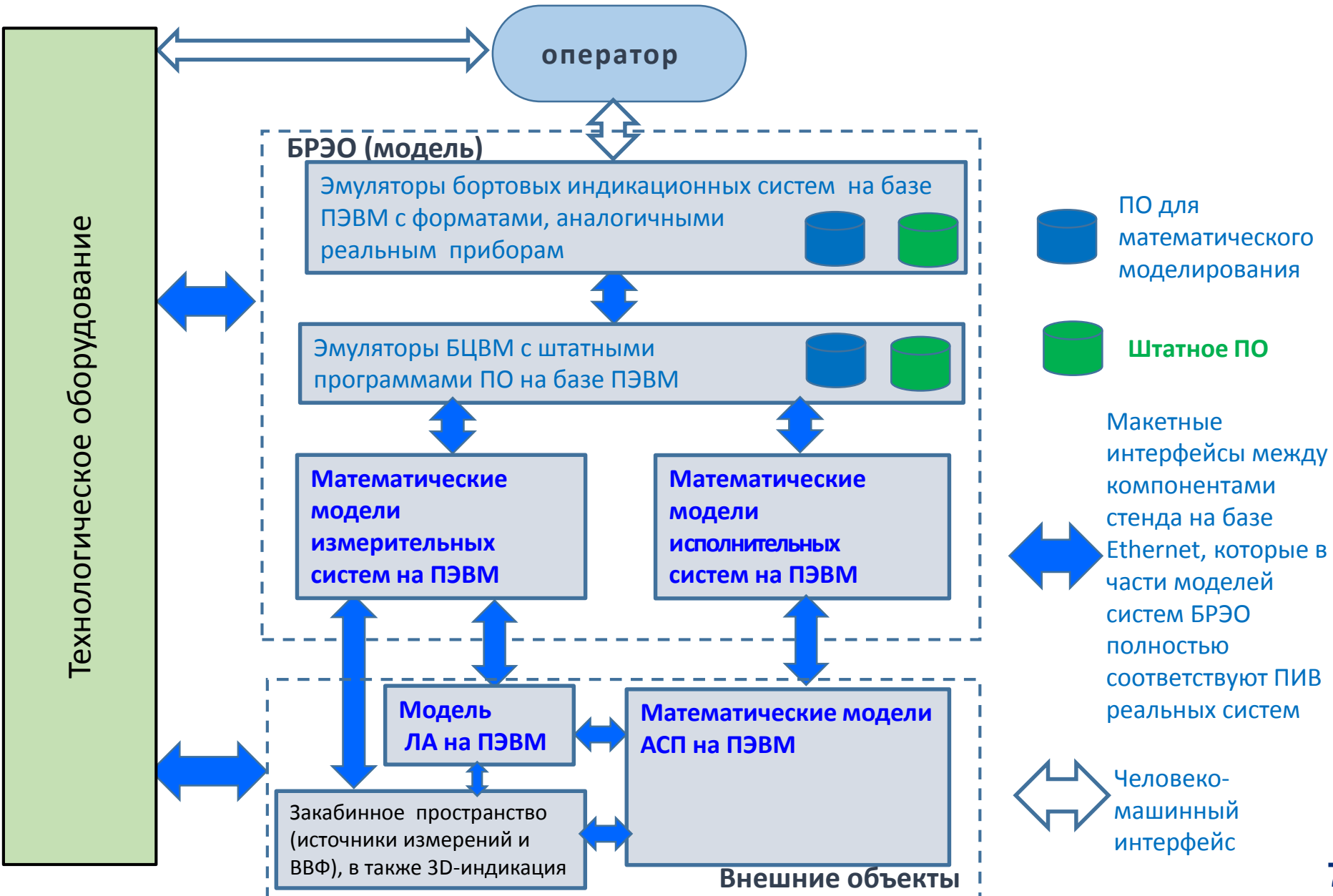
стадия 4 – эксплуатация (**этапы:** штатная эксплуатация,

модернизация,

хранение,

утилизация).







**Стенды прототипирования и математического моделирования** предназначены для повышения эффективности исследований, разработки и эксплуатации БРЭО и находят применение на всех стадиях жизненного цикла комплексов БРЭО для решения следующих основных задач:

- 1) **отработка различных конфигураций** комплексов БРЭО с учетом технических характеристик его компонентов;
- 2) отработка **логик работы, режимов** и отдельных задач комплексов БРЭО;
- 3) отработка **протоколов информационного взаимодействия** бортовых систем и отработка **спецификаций ПО**;
- 4) **отработка** и отладка функциональных задач **ПО БЦВС до** разработки и **изготовления штатных бортовых вычислителей**;
- 5) **сопровождение** разработки **ПО БЦВС на всех этапах** его разработки;
- 6) сопровождение ПО БЦВС на этапах проведения наземных и натурных испытаний комплексов для анализа результатов натурных работ, поисков и исправления ошибок в ПО БЦВС;
- 7) оценка реализации отдельных задач с привлечением летчиков-испытателей.

### **Основные достоинства:**

- возможность **задействования на самых ранних стадиях** разработки БРЭО ЛА и использование на всех следующих стадиях;
- возможность **выявления и устранения на ранних этапах проектирования крупных инженерных ошибок** при разработке БРЭО, исправление которых на последующих этапах ОКР обходится слишком дорого;
- возможность ранней **разработки ПО без ожидания изготовления реального бортового оборудования**, которое обычно используется в стендах ПНМ;
- возможность **использования задела** (технологического ПО стендов ПНМ), **а также коммерческих программ**;
- возможность **включения заказчика** в процесс оценки реализованной функциональности БРЭО (посредством передачи ему копии такого стенда);
- возможность использования в качестве тренажера **для привлечения летчиков-испытателей** к оценке;
- возможность проведения **оценки характеристик БРЭО в условиях, невозпроизводимых в полете**, и при **нештатных режимах работы**;
- существенное **сокращение времени разработки ПО БРЭО**.



## Общие особенности:

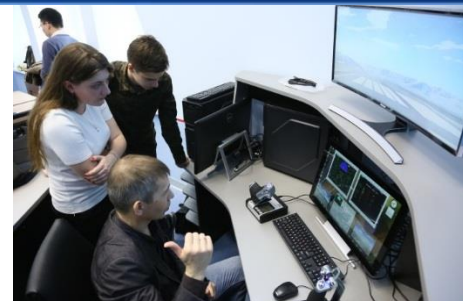
- перепрограммируемый интерфейс на основе сенсорных ЖК-мониторов и развитых ОУ;
- объединение компонентов по каналам Ethernet;
- возможность наращивания структуры и подключения новых моделей компонентов (в т.ч. числе ЛА);
- возможность использования штатного ПО в имитаторе БЦВМ и ИУП;
- визуализация внекабинного пространства тактической группы;
- управление моделированием, задание вводных, регистрация результатов.

## Выполнение этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также учебно-исследовательских работ по тематике:

- интеллектуальная поддержка экипажа;
- комплексная обработка информации и управление;
- специальные функциональные режимы;
- планирование полета и оперативное групповое взаимодействие;
- человеко-машинный интерфейс;
- структура и взаимодействие основных компонентов КБО, включая ПМО;
- послеполетная обработка данных;
- моделирование ЛА и КБО;
- программно-математическое обеспечение стенда моделирования.

## Базовый состав рабочих мест:

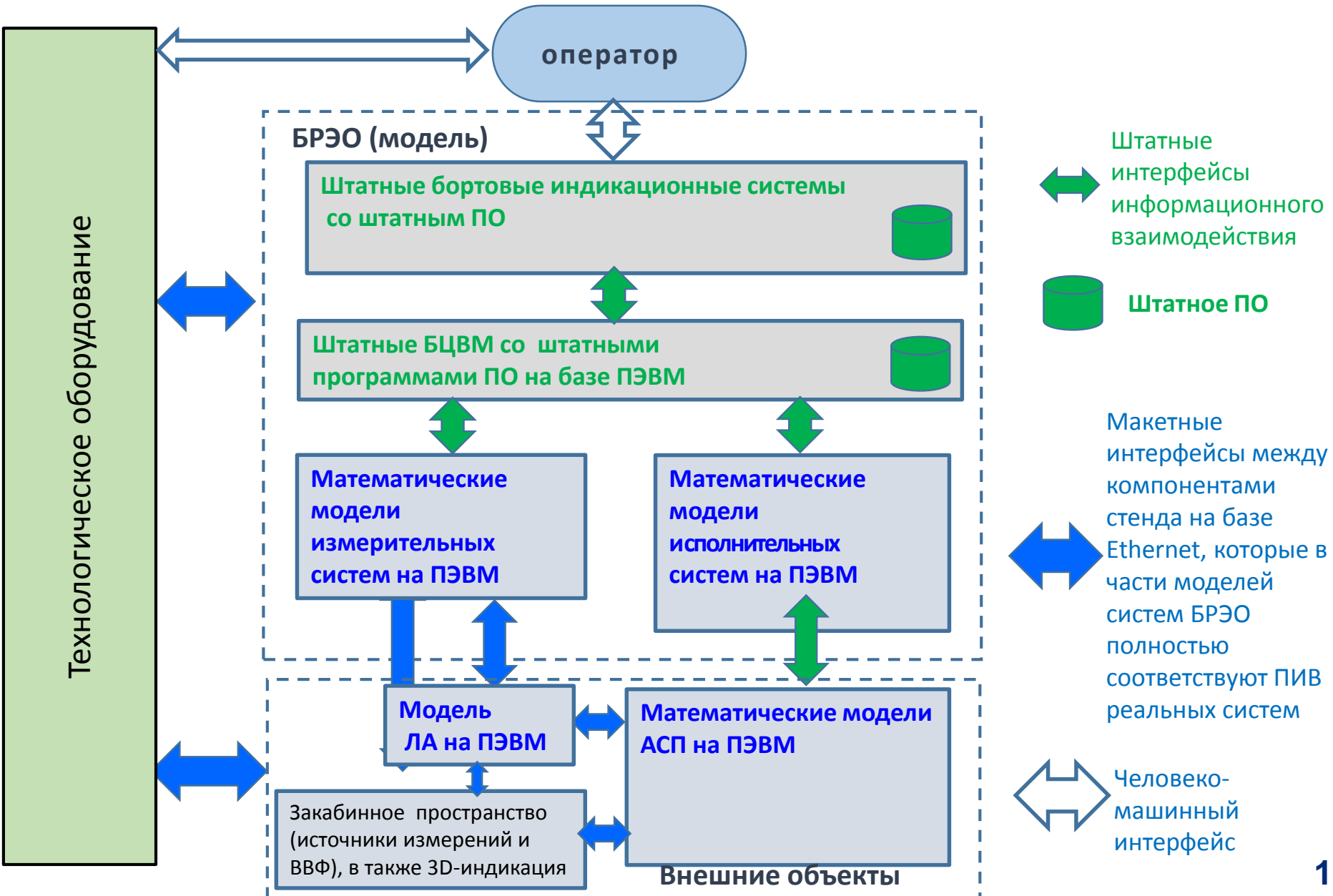
- рабочее место основное (РМО) в макете кабины ЛА;
- рабочее место дополнительное (РМД) - имитации других ЛА (групповое взаимодействие) – возможно наращивание количества в составе стенда;
- рабочее место инструктора (РМИ) - для управления работой МСКБО, имитации отказов, задания метеоусловий и т.п.;
- рабочие места программистов (РМП) – разработка и редактирование ПО, подготовка полетных заданий.



1. Обеспечение точной навигационной информации по данным ИНС средней точности и СНС (модернизация самолетов поколения 4)
2. Комплексование навигационных и обзорно-прицельных систем для решения задач повышения точности навигации и определения параметров оперативных точек интереса
3. Оценка параметров резервных каналов счисления (доплеровский, курсо-воздушный)
4. Информационное обеспечение режима сверхманевренности

## Примеры математического моделирования при корректировке ПМО по результатам летных испытаний

1. Корректировка алгоритмов и ПО комплексной обработки информации по результатам летных испытаний
2. Обеспечение качества начальной выставки ИНС на подвижном основании (корабле) с использованием результатов летных испытаний



**Стенды интеграции ПО** предназначены для комплексной сборки и оценки корректности работы ПО в реальной среде функционирования.

**Стенды интеграции ПО** применяются на этапах разработки и интеграции компонентов БРЭО, лабораторных испытаний, анализа результатов летных испытаний и сопровождения эксплуатации БРЭО (частично) и обеспечивают решение следующих задач:

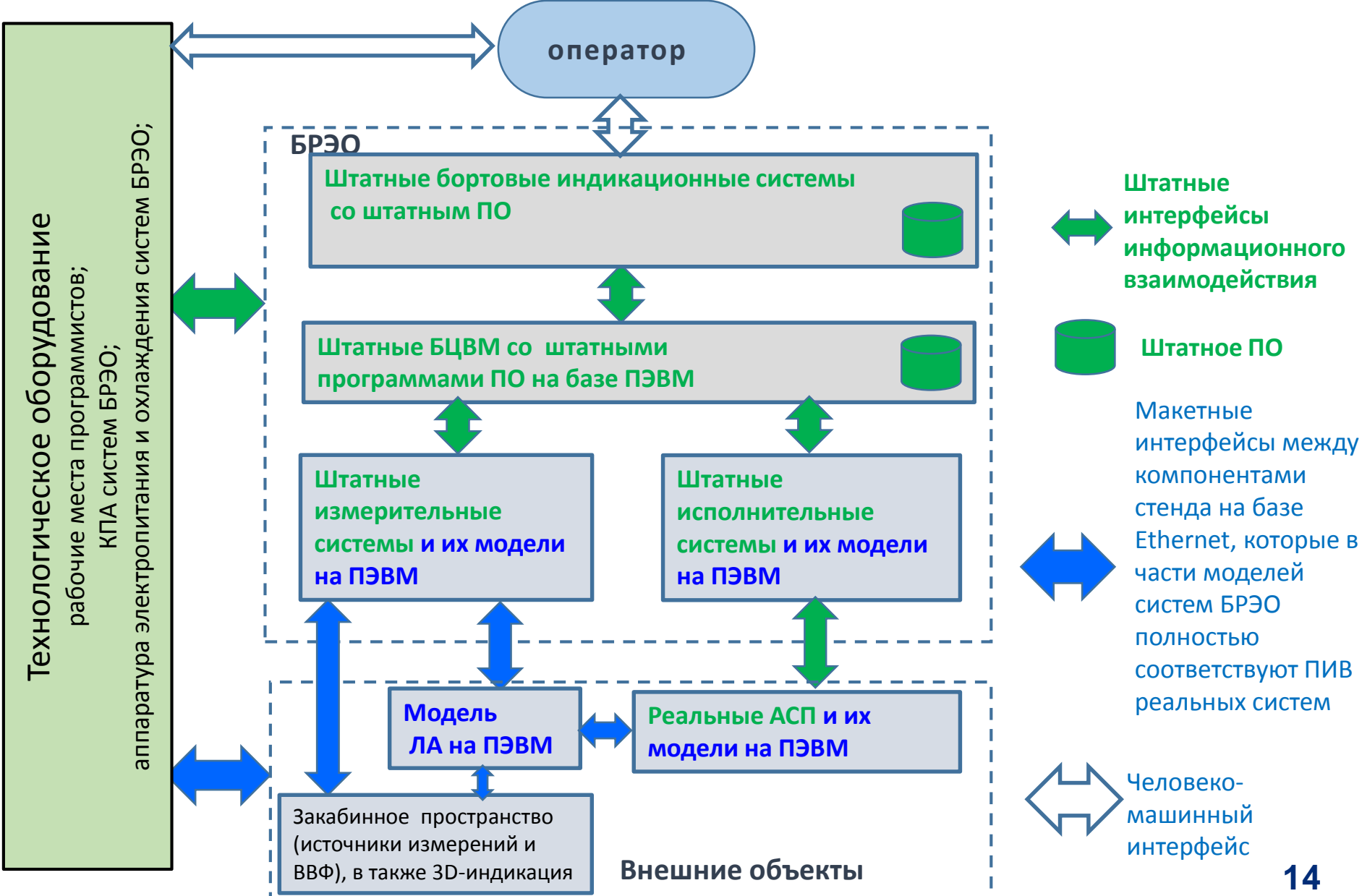
- 1) **интеграция ПО**, разработанного различными предприятиями в соответствии с ГОСТ Р 51904 и КТ-178С;
- 2) отработка взаимодействия **программных модулей** в соответствии с интерфейсами между ними;
- 3) **отработка динамической реконфигурации** структуры БЦВС с соответствующим перераспределением вычислительных ресурсов между бортовыми вычислителями;
- 4) отладка функционального ПО на целевых вычислительных платформах (**интеграция аппаратуры, ОС РВ, УВВ БВ и ФПО**);
- 5) **функциональное тестирование** и верификация ПО БЦВС;
- 6) **проверка** соответствия функционирования систем БРЭО и информационных каналов требованиям **протоколов информационного взаимодействия** для разных интерфейсов;
- 7) **анализ загрузки информационных каналов связи** систем БРЭО с БЦВС и оценка резерва их **пропускной способности** посредством моделирования обмена по каналам в соответствии с реальным расписанием обмена;
- 8) **исследование устойчивости** информационного обмена между системами к помехам;
- 9) **исследование влияния отказов** систем ЛА на выполнение задач БРЭО в полете.

**Главная особенность стендов интеграции ПО** – они занимают промежуточное положение между стендами ММ и ПНМ и наследуют ряд свойств этих стендов (штатное ПО работает практически в натуральных условиях, БРЭО и внешняя среда – в виде моделей).

**Стенды интеграции ПО** могут рассматриваться как стенды ПНМ с неполной аппаратной комплектацией и более узким, по сравнению со стендом ПНМ, кругом решаемых задач.

#### **Основные достоинства стендов интеграции ПО:**

- возможность **интеграции ПО без ожидания изготовления реального бортового оборудования**;
- возможность **использования задела** (технологического ПО и моделей стендов ПНМ и ММ);
- возможность проведения **оценки** качества ПО и вычислительной среды БРЭО **в условиях, невозпроизводимых в полете, и при нештатных режимах работы**;
- существенное **сокращение времени разработки и повышение качества** разрабатываемого ПО БРЭО.
- **сокращение сроков** переноса разработанного ПО на новые аппаратные платформы и внесения изменений ПО;
- возможность эффективного решения задач **отработки ПО** вычислительных средств на базе интегрированной модульной авионики (**ИМА**), проектирования и **отработки сетевых структур** комплексов БРЭО.



**Стенды полунатурного моделирования (СПНМ)** предназначены для интеграции комплекса БРЭО и оценки корректности его функционирования на этапах лабораторных (наземных) испытаний и сопровождения летных испытаний, а также анализа результатов эксплуатации БРЭО, и обеспечивают решение следующих задач:

- 1) **интеграция комплекса** бортового оборудования, его систем и вооружения **как единой системы**;
- 2) проведение автономных статических испытаний отдельных систем БРЭО;
- 3) **отработка** и проверка:
  - a) бортовых **схем подключения**;
  - b) **протоколов** информационного **взаимодействия** систем БРЭО и подвесных изделий ЛА по штатным каналам связи;
  - c) единой системы управления с участием экипажа;
  - d) **режимов** работы БРЭО;
  - e) **логики взаимодействия систем БРЭО** на всех этапах полета ЛА,
  - f) логики взаимодействия **летчика с информационно-управляющим полем кабины** ЛА;
- 4) проведение **испытаний на отказобезопасность** с имитацией отказов систем БРЭО;
- 5) выполнение **обучения летного и технического персонала** работе с комплексом БРЭО;
- 6) проведение **наземных испытаний** комплекса;
- 7) **сопровождение летных испытаний**.

### **Достоинства стендов ПНМ:**

- **эффективное вовлечение** в процесс разработки ПО лётчиков-испытателей, представителей Генерального конструктора ЛА и других заинтересованных специалистов;
- **обеспечение выполнения всего цикла наземных испытаний** комплексов БРЭО в рамках проведения ПИ и МВИ;
- отработка логики выполнения различных задач БРЭО;
- возможность **подключения вместо моделей реальных информационных и исполнительных систем**;
- выполнение отработки технической и эксплуатационной документации на комплекс БРЭО;
- выполнения отработки бортовых интерфейсов с реальной аппаратурой.

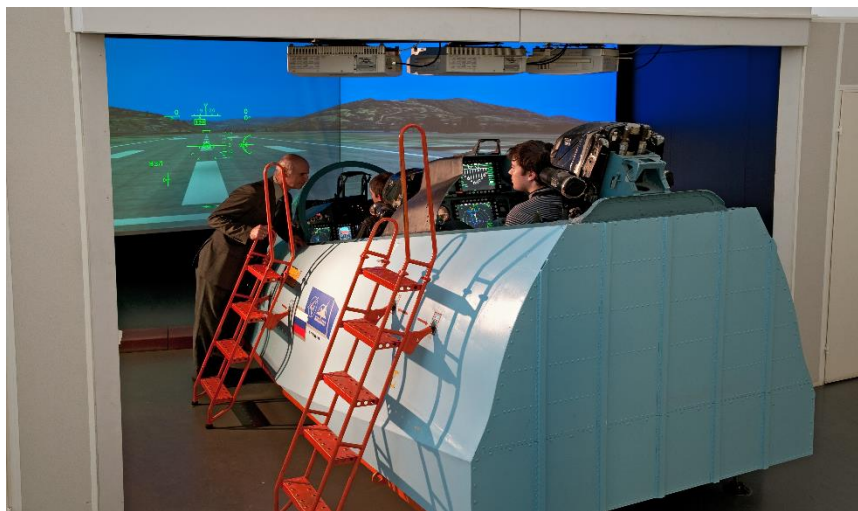




Стенд ПНМ комплекса БРЭО самолета (№1)



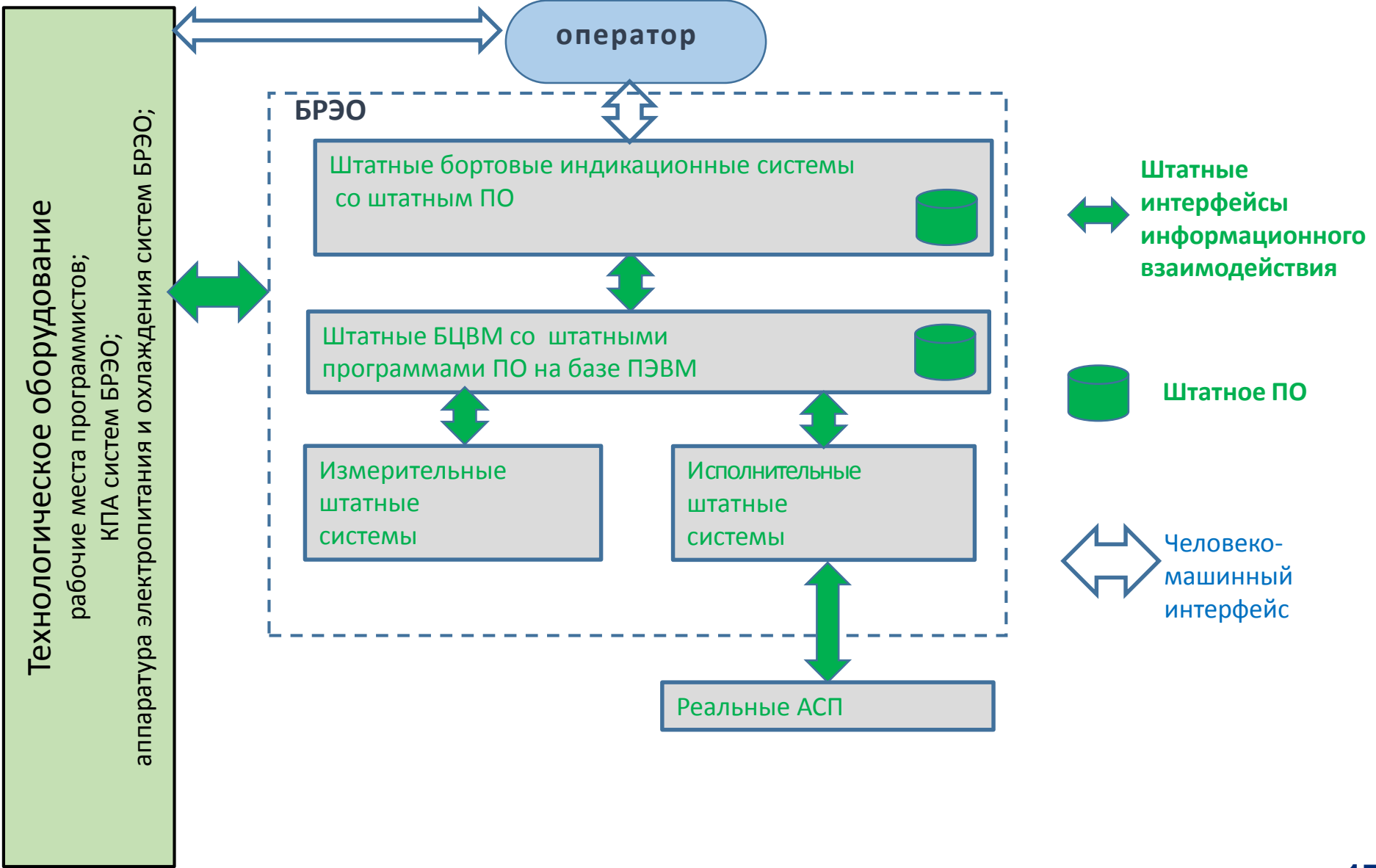
Стенд ПНМ комплекса БРЭО самолета (№2)



Стенд ПНМ и демонстратор комплекса БРЭО самолета (№3)



Стенд ПНМ комплекса БРЭО вертолета (№4)



Стенды комплексирования аппаратуры на предприятиях-изготовителях комплексов БРЭО предназначены для повышения качества поставляемой продукции Заказчику на этапах серийного производства и эксплуатации изделий путем решения следующих основных задач:

- 1) проведение входного контроля систем комплекса БРЭО;
- 2) исследование отказавших систем при выпуске комплекса и при поступлении систем комплекса на ремонт в эксплуатации;
- 3) проведение ПСИ комплекса в соответствии с ТУ;
- 4) выполнение автоматизированной прошивки штатных версий ПО в модули бортовых вычислителей при выпуске комплекса, а также контроля версий ПО;
- 5) обеспечение учета и сбора статистической информации о комплексе БРЭО, который установлен на стенд.

Пример стенда проведения ПСИ комплекса в КИС АО «РПКБ»



Стенды комплексирования аппаратуры на предприятиях-изготовителях объекта предназначены для повышения качества объекта в целом при его сборке на этапах серийного производства и эксплуатации изделий путем решения следующих основных задач :

- 1) проведение входного контроля комплекса БРЭО;
- 2) проведение диагностики отказавших систем БРЭО при сборке объекта и в процессе проведения натурных испытаний объекта на авиационном заводе;
- 3) проведение входного контроля систем БРЭО при их отказе и замене в комплексе БРЭО на объекте.

## **Основные вопросы, решение которых необходимо для эффективного математического и полунатурного моделирования на всех этапах ЖЦ:**

- Обеспечение адекватности моделей внешней среды:
  - Разработка единых требований к моделям объектов внешней среды – источникам полезной информации для бортовых измерительных систем и источникам внешних возмущающих факторов;
  - Выбор и/или разработка типовых унифицированных интерфейсов и протоколов взаимодействия моделей;
  - Выбор программно-аппаратной среды моделирования и методов интеграции моделей.
- Обеспечение адекватности моделей объектов управления (ЛА и АСП) :
  - Разработка единых требований к моделям;
  - Выбор и/или разработка типовых унифицированных интерфейсов и протоколов взаимодействия моделей;
  - Выбор программно-аппаратной среды моделирования и методов интеграции моделей.
- Разработка «цифровых двойников» аппаратных модулей и компонентов БРЭО:
  - Разработка перечня типовых моделей (механических, информационных, электромагнитных и т.п.) и основных требований к ним;
  - Выбор и/или разработка типовых унифицированных интерфейсов и протоколов взаимодействия моделей;
  - Выбор программно-аппаратной среды моделирования и методов интеграции моделей.
- Разработка «модельных версий» ПМО БРЭО:
  - Разработка методических рекомендаций по поэтапному проектированию и отладке ПМО БРЭО с учетом требований стандартов по разработке ПО на ранних стадиях.
- Обеспечение зачетности моделирования:
  - Разработка единых требований к технологическому оборудованию стендов в части метрологического и методического обеспечения моделирования;
  - Выбор и/или разработка методов и инструментов моделирования и оценки его результатов.



1. **Предприятиями и организациями отрасли накоплен большой положительный опыт использования различных видов моделирования при исследовании и разработке новой техники.**
2. **Моделирование - необходимый важный элемент всех этапов процесса разработки, испытаний и эксплуатации БРЭО в целом и его отдельных компонентов.**
3. **При создании современных систем БРЭО взаимосвязанные этапы математического, полунатурного моделирования и лётных исследований являются обязательными.**
4. **Моделирование существенно повышает степень отработки БРЭО, включая помехозащищенность и возможность работать в различных условиях применения.**
5. **Моделирование позволяет сократить сроки и стоимость разработки, существенно снизить количество натурных работ при проведении КЛИ и ГСИ ЛА и повышает эффективность исследования и разработок новой техники.**
6. **Для максимизации положительного эффекта моделирования необходимо введение унифицированных решений моделирования для всех технологических процессов жизненного цикла авионики.**
7. **Необходимо совершенствование методологии испытаний БРЭО и ЛА путем сочетания летных испытаний и математического и полунатурного моделирования.**
8. **Требуется организация разработки и переработки НТД по методическому обеспечению испытаний авиационной техники и авиационных стандартов, определяющих положения работ по созданию и применению различных стендов в процессе разработки, испытаний и эксплуатации БРЭО ЛА.**
9. **Требуется создать стандарты для «цифровых двойников» изделий, которые обеспечат возможность проведения испытаний и приемки работ заказчиком при предоставлении функционирующих моделей данных изделий**

**Спасибо за внимание**