

Полеты в космос. Оперативное управление космическими аппаратами

Моделирование полета КА

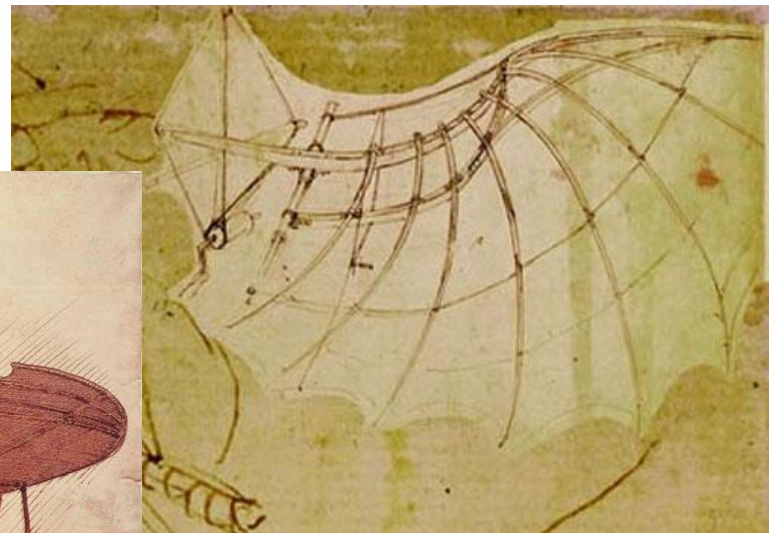
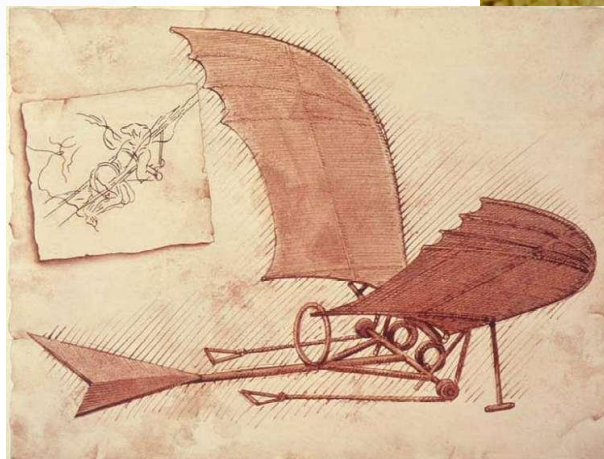
Профессор
Соловьёв

В.А.

«...Моделирование – это практическое или теоретическое исследование объекта, при котором непосредственно изучается не сам интересующий нас объект, а некоторая вспомогательная, искусственная или естественная система...»

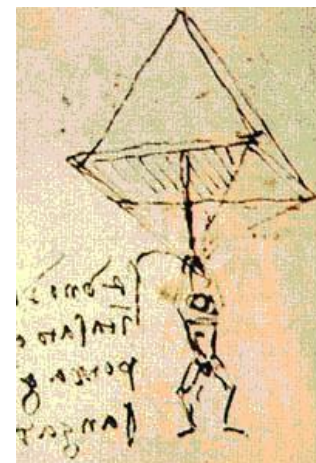
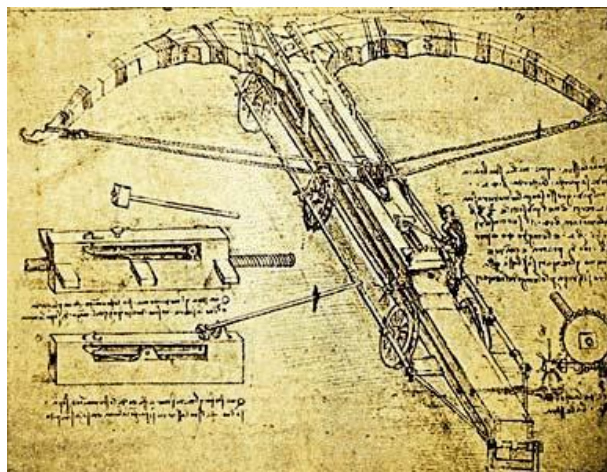


(Алексей Андреевич Ляпунов)



Леона́рдо ди сер Пьéро да Вínчи
(итал. *Leonardo di ser Piero da Vinci*)

15 апреля 1452 — 2 мая 1519



Модели

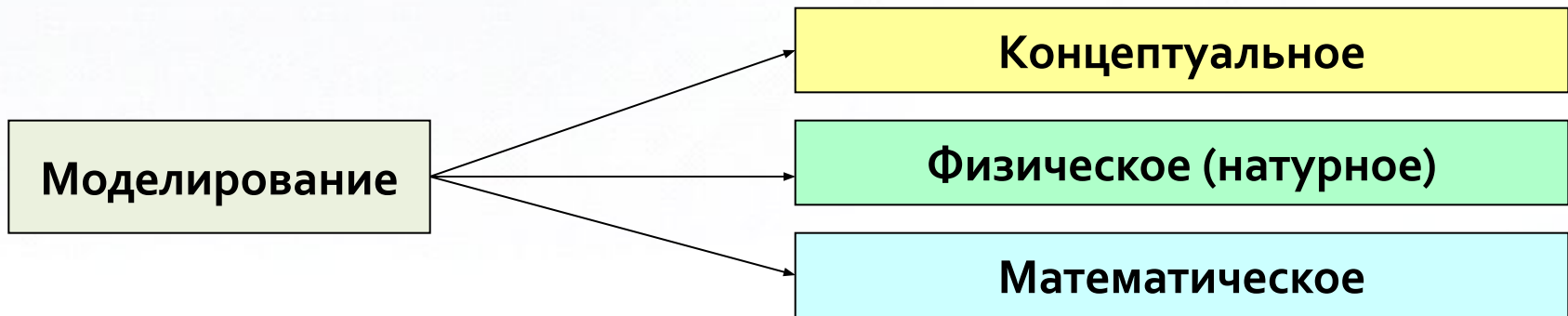
Модель (modele (фр.), modulus (лат.) – мера, аналог, образец; упрощенное представление реального устройства и/или протекающих процессов, явлений.

Основные требования:

- Адекватность или взаимно – однозначное соответствие модели исходной реальной системе;
- Точность – степень совпадения результатов работы модели и реального объекта;
- Целесообразность, простота и экономичность.

Моделирование

Моделирование – исследование объектов познания на их моделях.

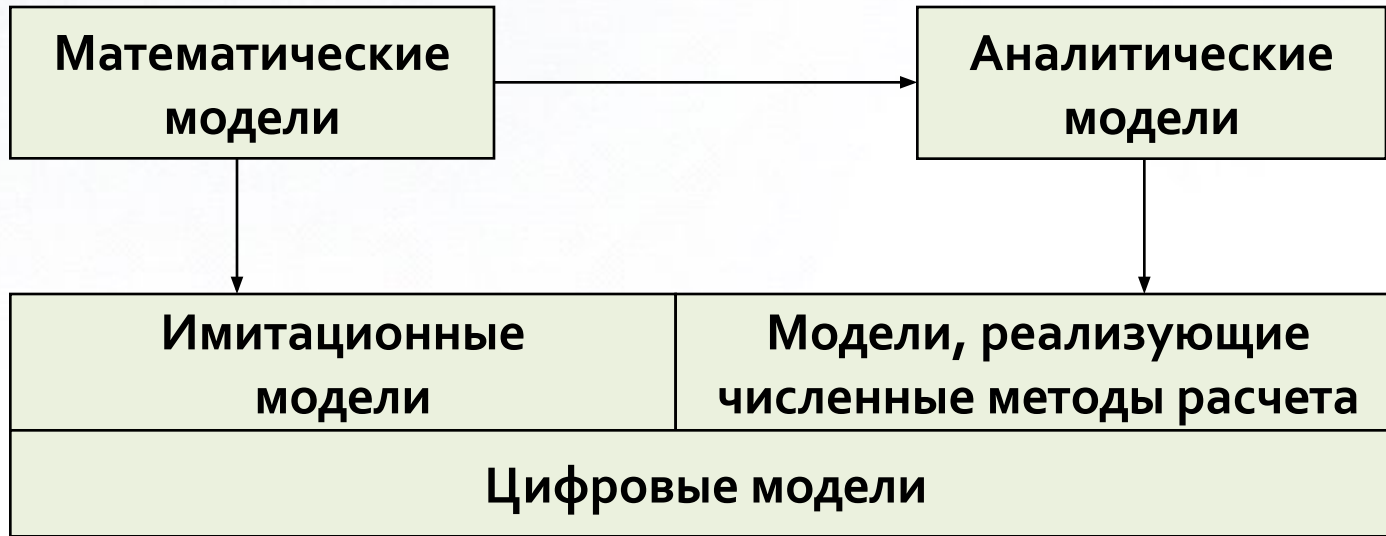


Концептуальное (содержательное) моделирование - метод, основанный на определении множества понятий и связей, являющихся смысловой структурой рассматриваемой предметной области.

Физическое моделирование – метод экспериментального изучения физических явлений, основанный на физическом подобию.

Математическое моделирование – метод, основанный на математическом представлении реальности.

Глубина моделирования



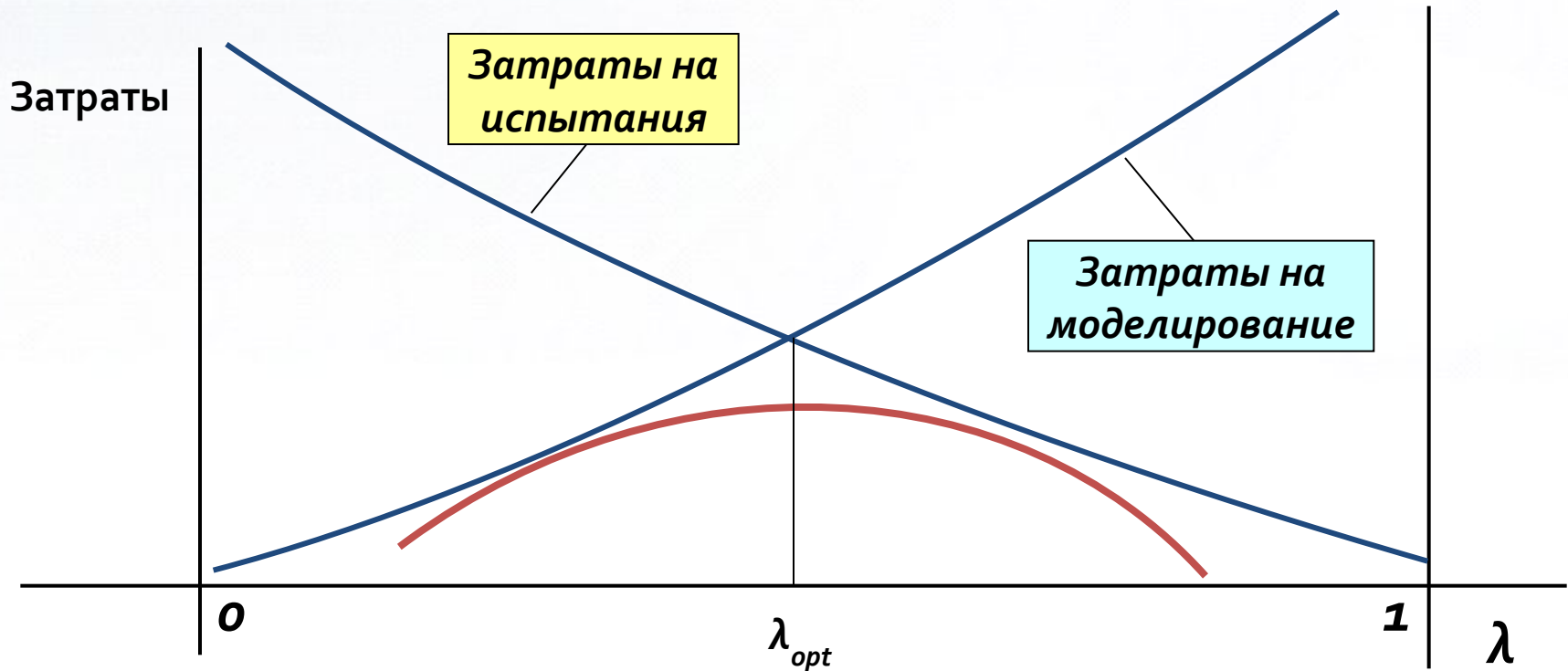
Глубина моделирования:

При моделировании сложной системы используется совокупность нескольких моделей с постепенным увеличением сложности и детализации.

В зависимости от глубины анализа системы простые модели заменяются все более сложными.

Необходимо учитывать, что часто переход к аналитическим моделям связан с упрощением реальной ситуации.

Оценка глубины моделирования



λ – показатель имеет экономический характер.

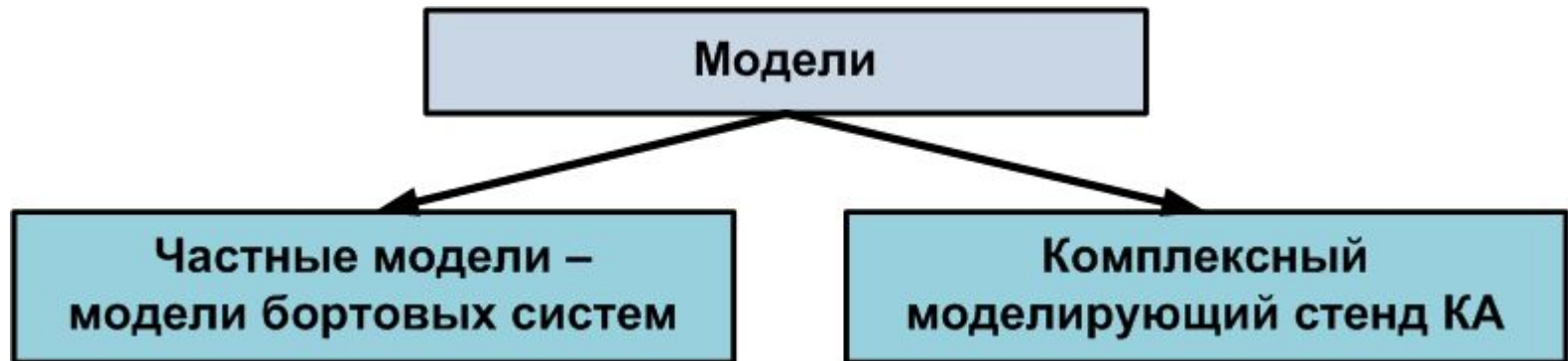
Значение $\lambda = 1$ соответствует полностью отработанной системе.

Для реальных случаев $\lambda_{opt} = 0,6 - 0,7 \lambda$

Модели для управления полетом КА

Моделирование – воспроизведение сложной системы при помощи другой:

1. Более простой
2. Более доступной для изменения характеристик и наблюдения поведения



Классификация моделей для управления полетом КА

Модели

Физические:

- ⊕ { полная электрическая совместимость;
- ⊖ { мало имитируемых н/с; слабое изменение хар-к; невозможность моделирования динамики движения, тепловых и газодинамич. воздействий; высокая стоимость;

Математические:

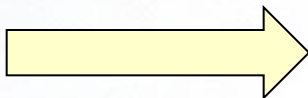
- ⊕ { количество н/с не ограничено;
- ⊖ { нет полной электрической совместимости;

Смешанные:

- ⊕ { количество н/с достаточно большое;
- ⊖ { обычно не осуществляется моделирование с НИПами;

Модели, используемые в процессе управления полетом КА

Физические модели



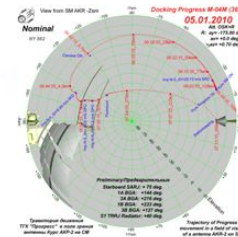
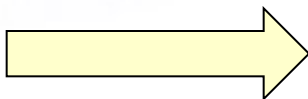
Стендовая база



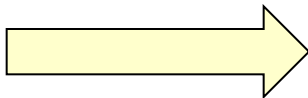
Трехмерное моделирование

Моделирование полей зрения антенн

Математические модели



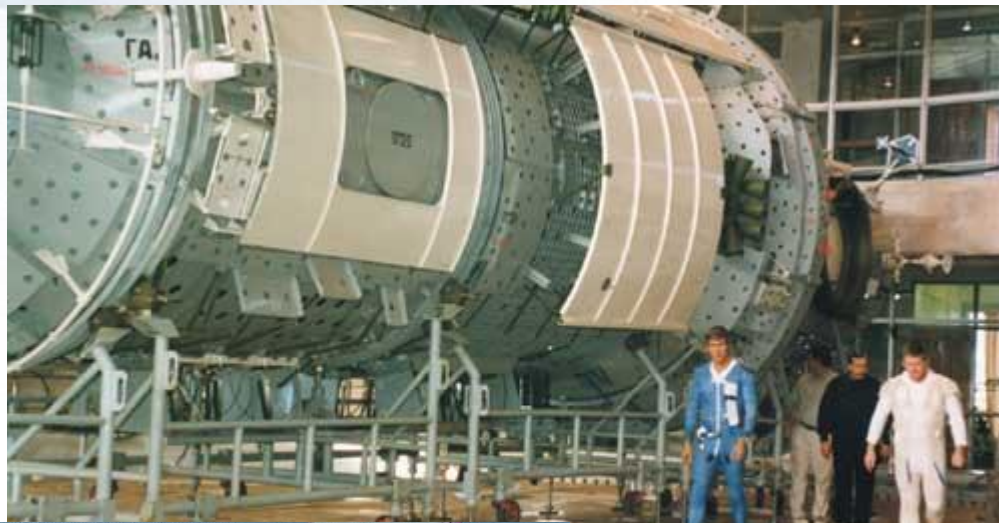
Комплексные модели



Комплексный моделирующий стенд



Физические модели КА



Физическое моделирование внешней компоновки



Физическое моделирование внутренней компоновки и интерьеров



Задачи математического моделирования для управления полетом КА

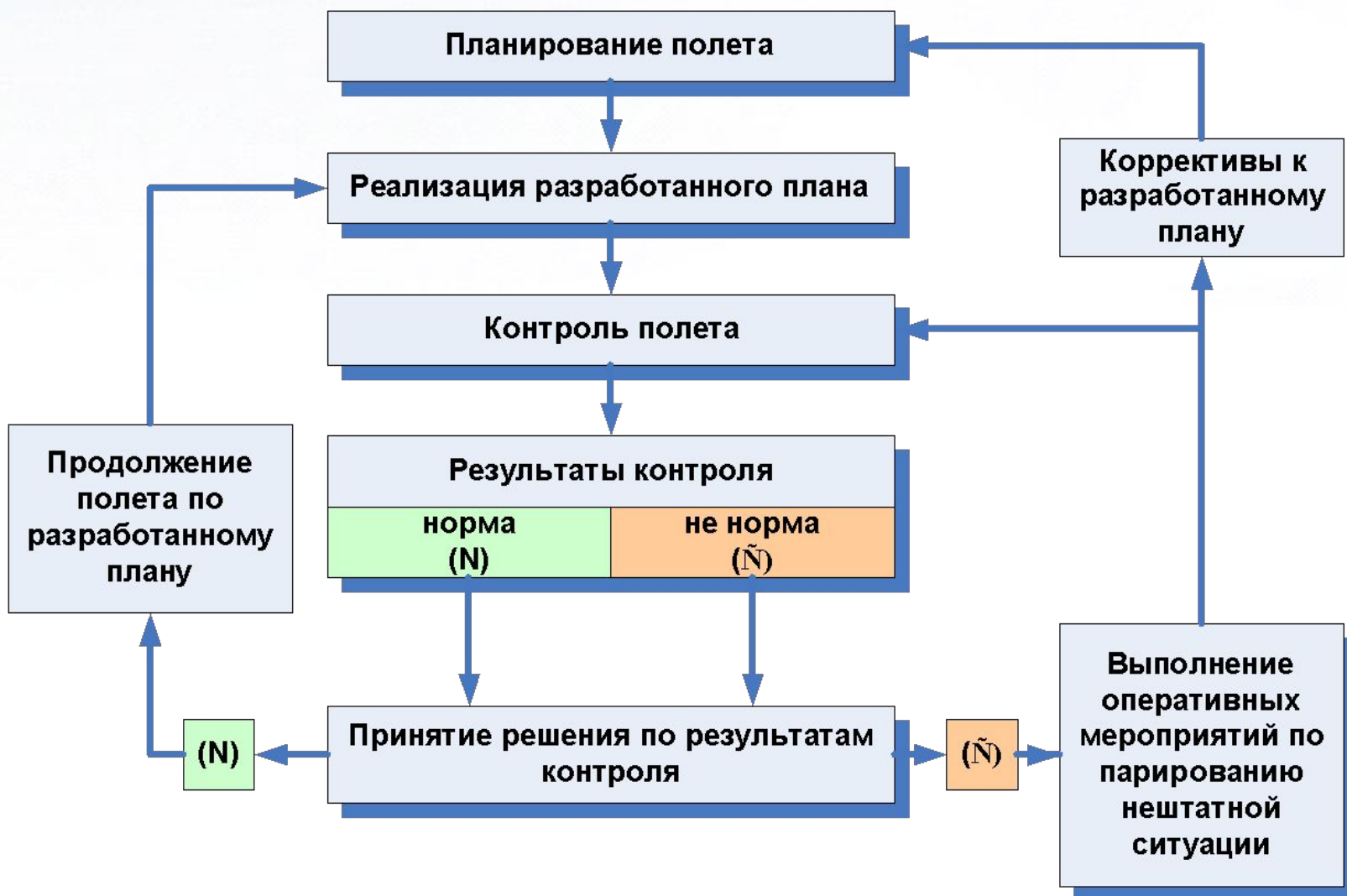
Математическая модель должна обеспечивать:

- **Моделирование работы бортовых систем КА и происходящих в них процессов;**
- **Отклик моделирующих систем КА на управляющие воздействия;**
- **Моделирование движения КА (центра масс и вокруг центра масс);**
- **Генерирование потока телеметрической информации;**
- **Моделирование информационных связей комплекса средств наземной части системы управления полетом;**
- **Ввод нештатных ситуаций в модели бортовых систем КА.**

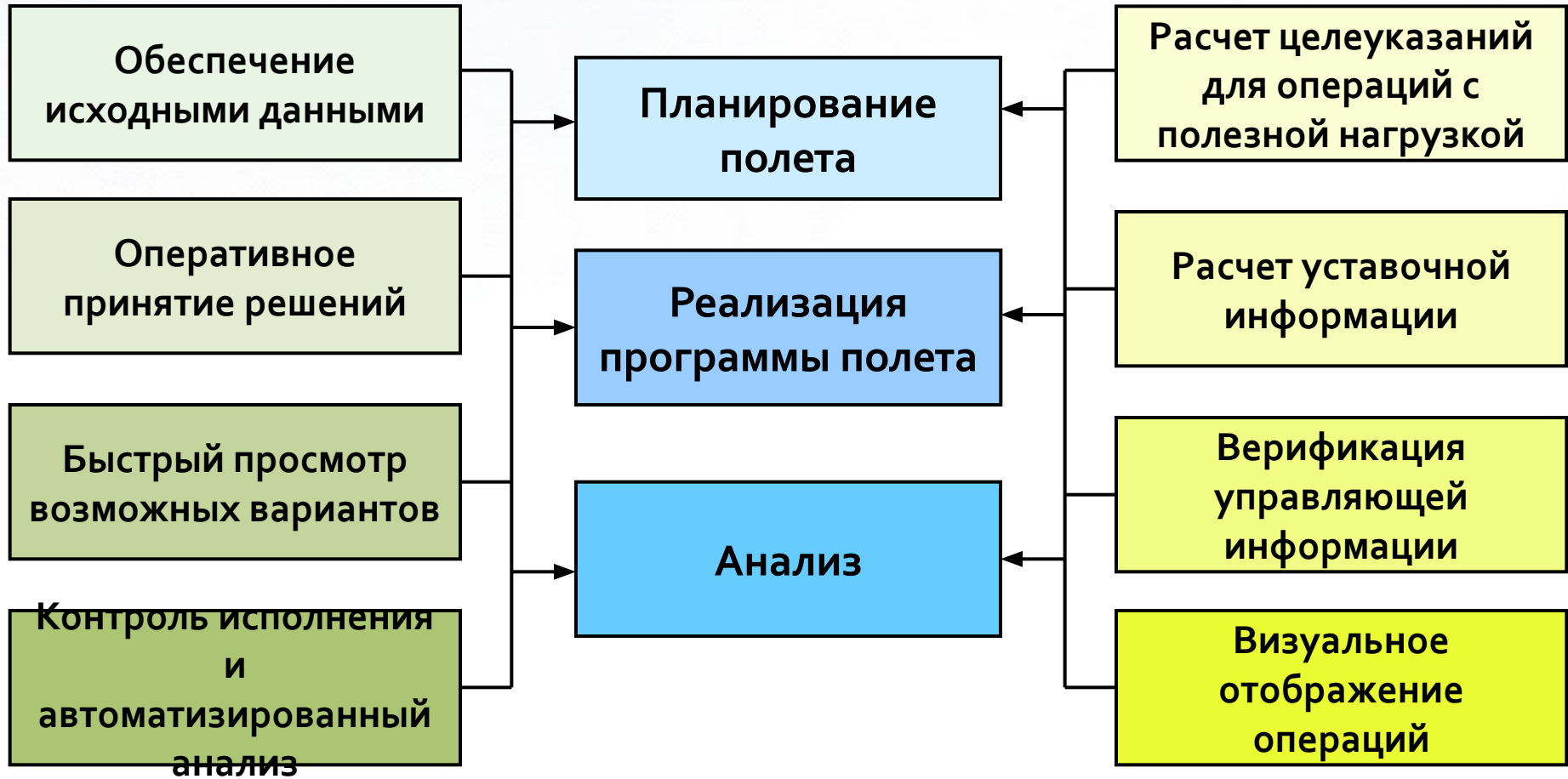
ВЗАИМОСВЯЗЬ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ



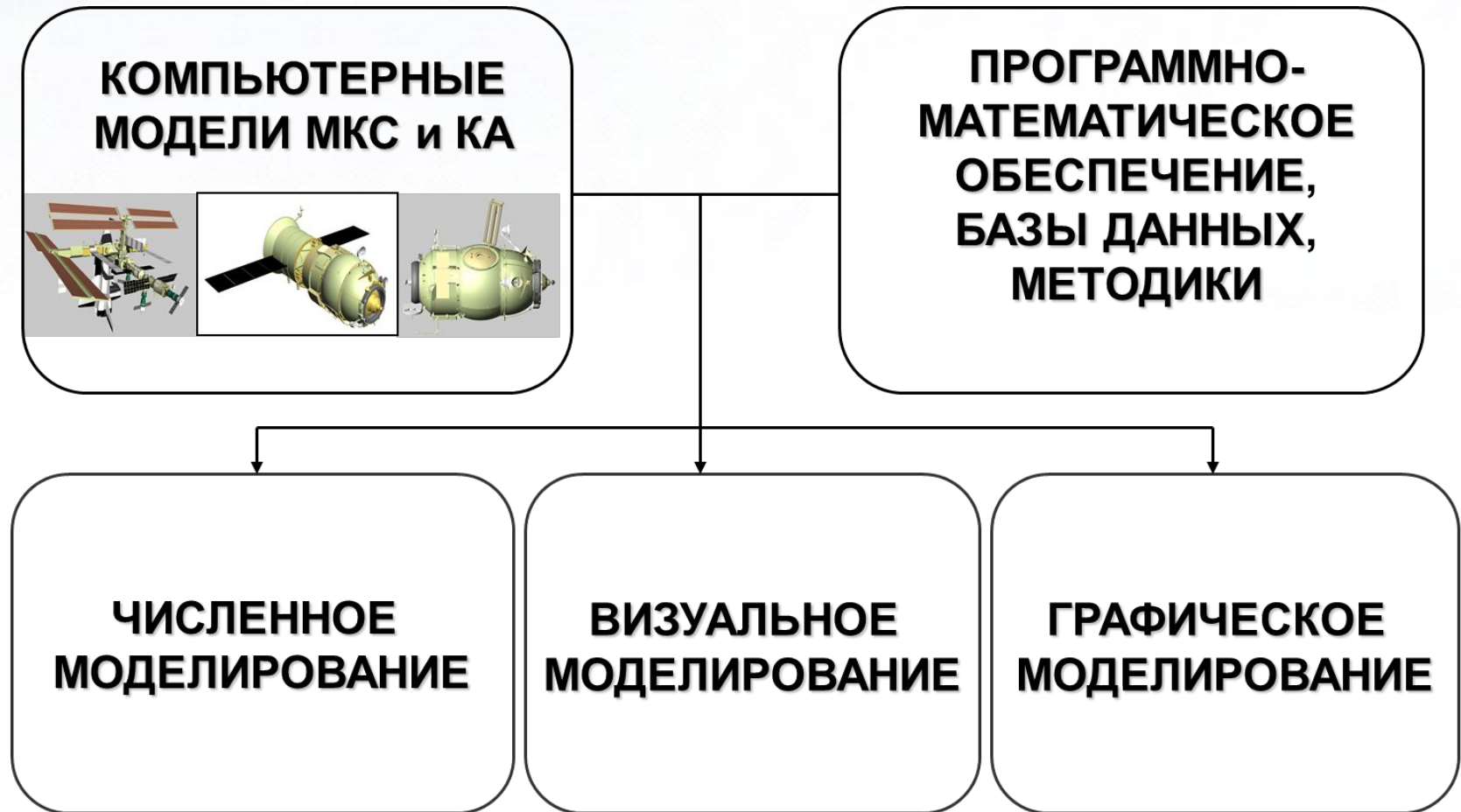
Управление полетом КА



Место моделирования



Виды моделирования полетных операций



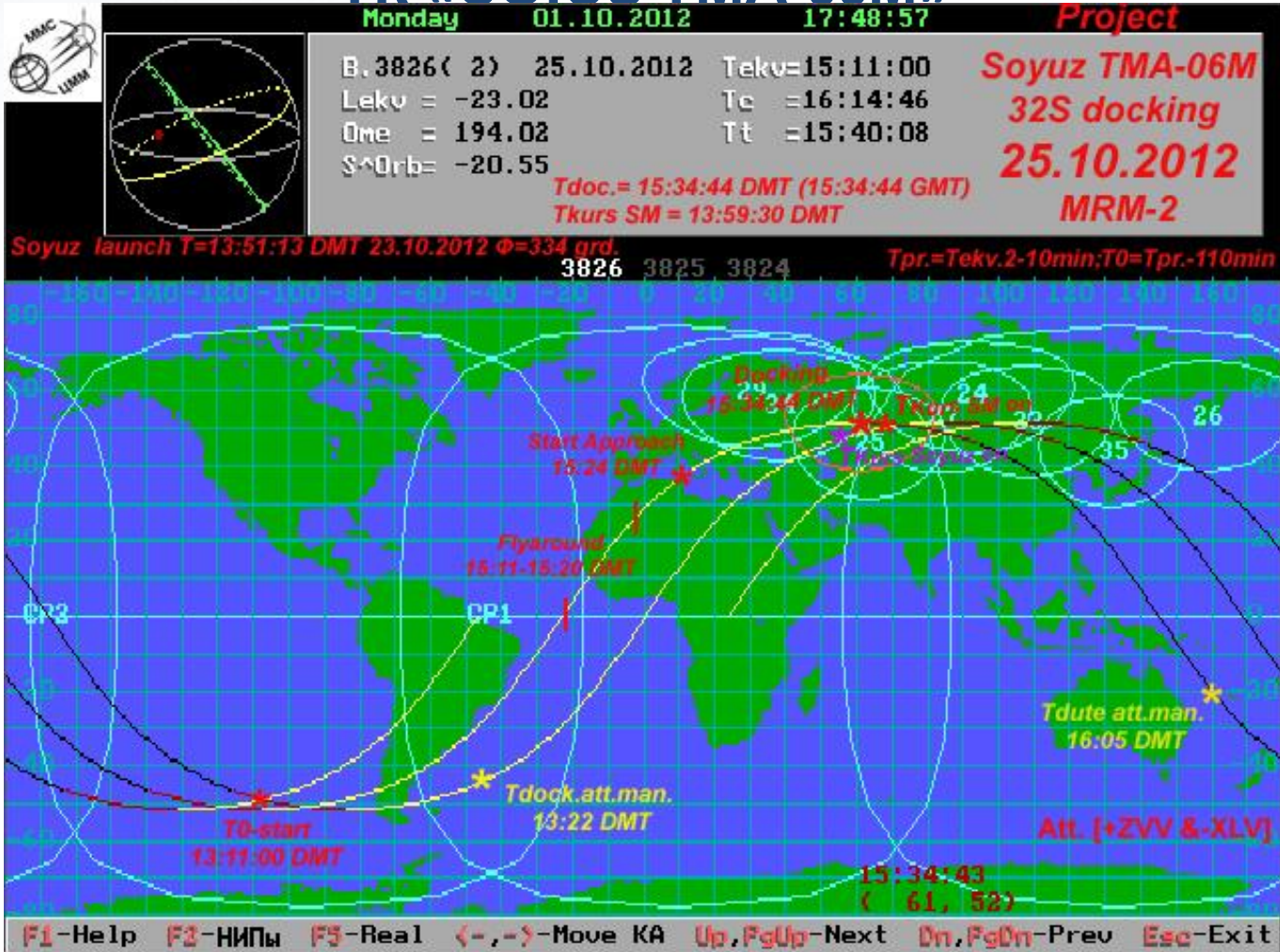
Численное моделирование полетных операций

Численное
моделирование

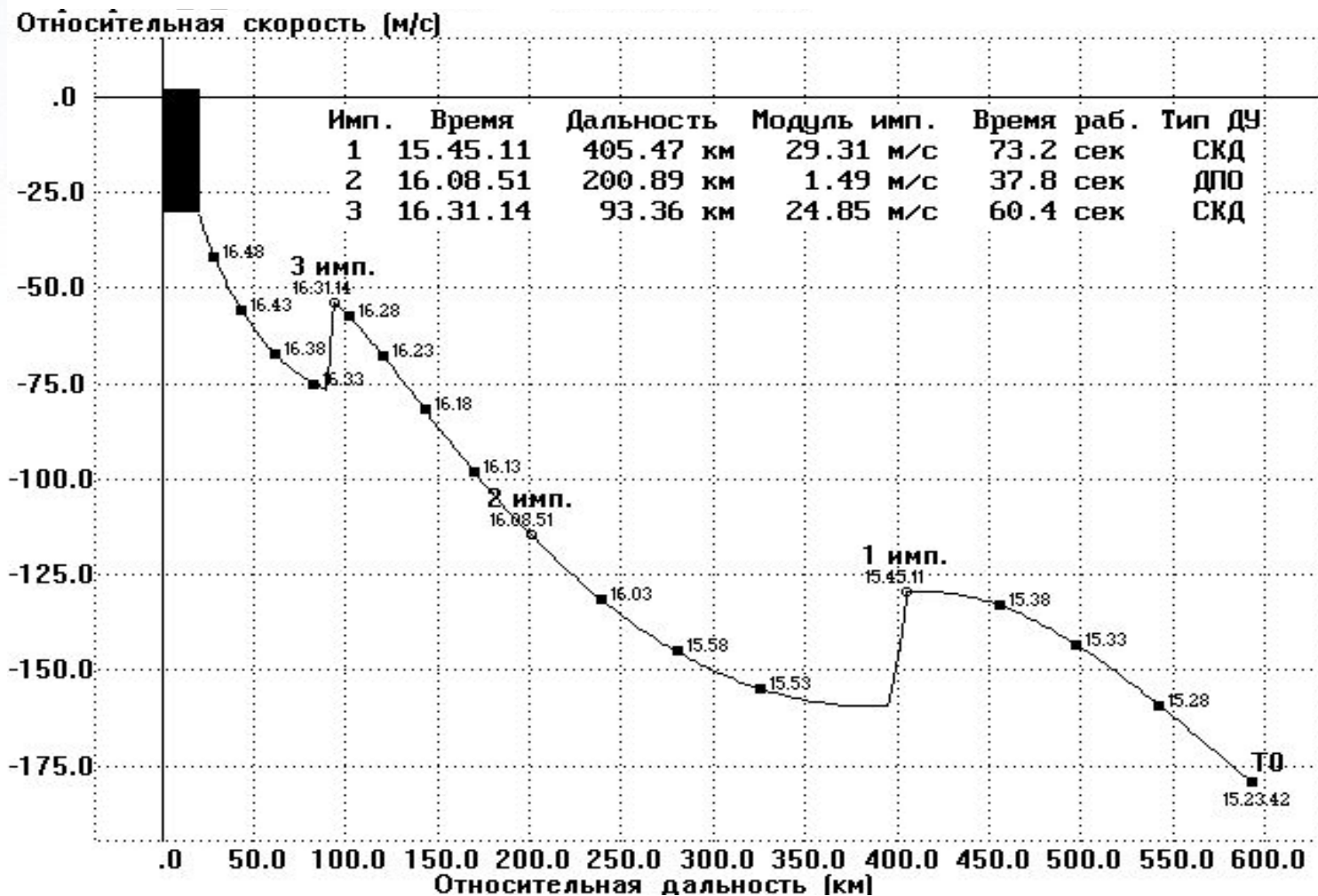
- Расчет ориентации МКС и данных для формирования командно-программной информации
- Баллистико-навигационная информация для планирования и реализации программы полета
- Моделирование относительного движения объектов при проведении расстыковок и спуска транспортных и грузовых кораблей, а также отделяемых КА
- Моделирование автономного участка сближения транспортных и грузовых кораблей
- Расчет энергоприхода от СБ РС для оценки энергобаланса
- Расчет целеуказаний для полезной нагрузки для выполнения программы научных исследований

Отображение баллистической обстановки при СТЫКОВКЕ

ТК «СОЮЗ ТМА-06М»



Отображение фазовой траектории автономного сближения



Входная информация для прогноза энергоприхода от СБ

- 1) данные о начальных условиях для расчета (прогноз векторов состояния МКС);
- 2) дата и время интервала моделирования энергоприхода;
- 3) ориентация МКС на интервале моделирования;
- 4) данные о положении подвижных элементов МКС на интервале моделирования с указанием даты, времени и зоны фиксации положения каждого из элементов;
- 5) конфигурация МКС на интервале расчета.

Пример моделирования энергобаланса

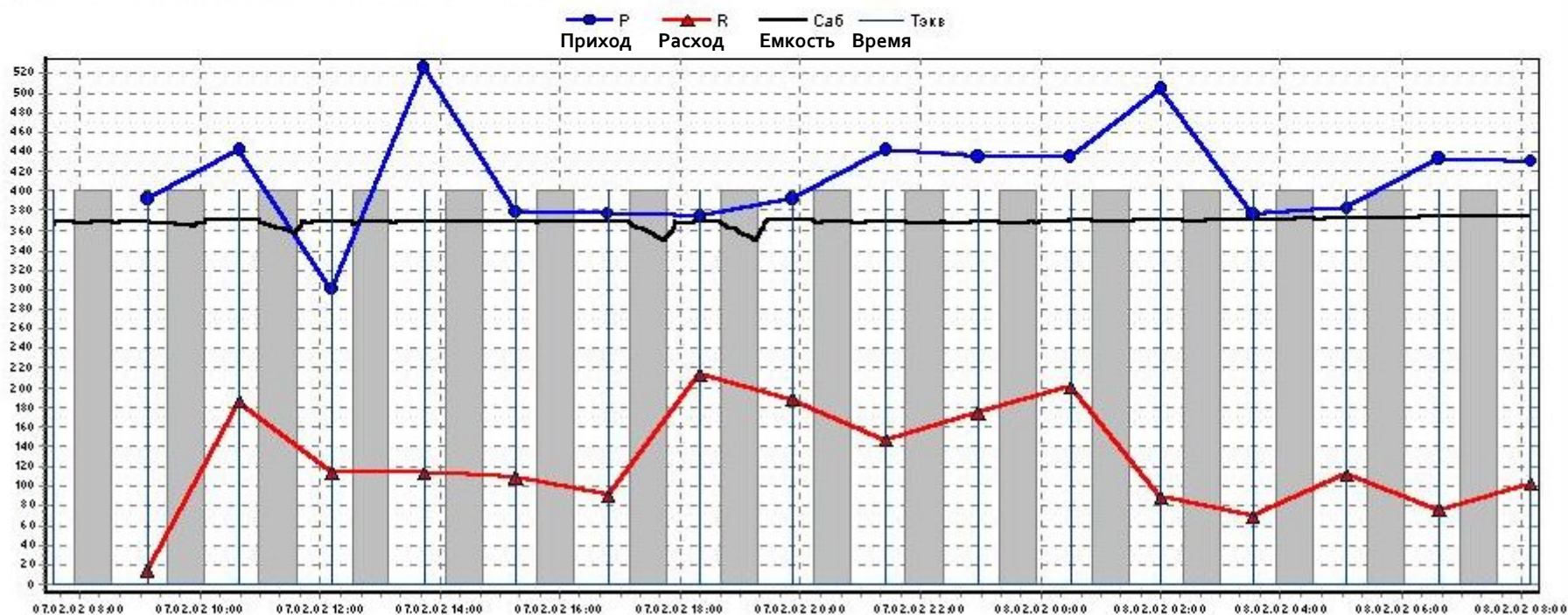
РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЭС

Интервал расчета: 07.02.02 7:33:48 - 08.02.02 8:09:23

Угол С: 9.48 слева

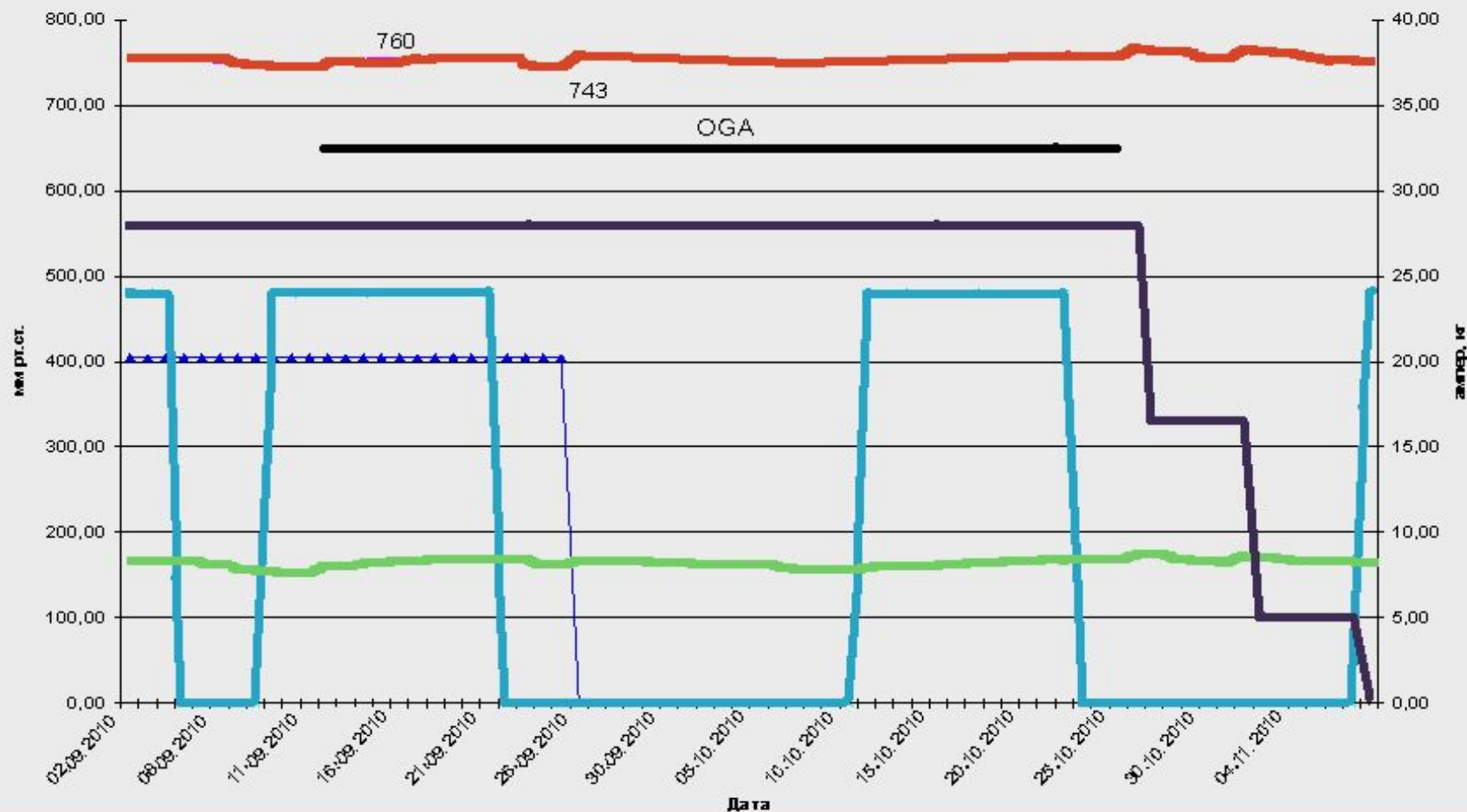
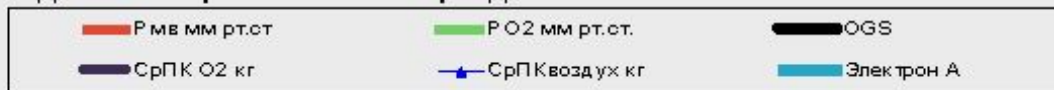
Виток №	2379	2380	2381	2382	2383	2384	2385	2386	2387	2388	2389	2390	2391	2392	2393	2394	Ср.сут.
Приход (С)	392	442	299	526	380	378	374	391	441	435	435	504	376	383	433	430	414
Расход	15	186	114	114	108	91	215	187	146	175	201	89	70	112	75	103	125
Саб	369	371	369	369	369	369	368	370	369	368	370	371	371	372	374	374	370
СНТ раб.	0	3	1	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	
Вкл. АБ	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	

Приход, расход, суммарная емкость АБ СЭП СМ [Ач]



Моделирование режимов работы средств кислородобеспечения РС МКС

Прогноз давления и работы СКО в период с 02.09.10 по 10.11.10

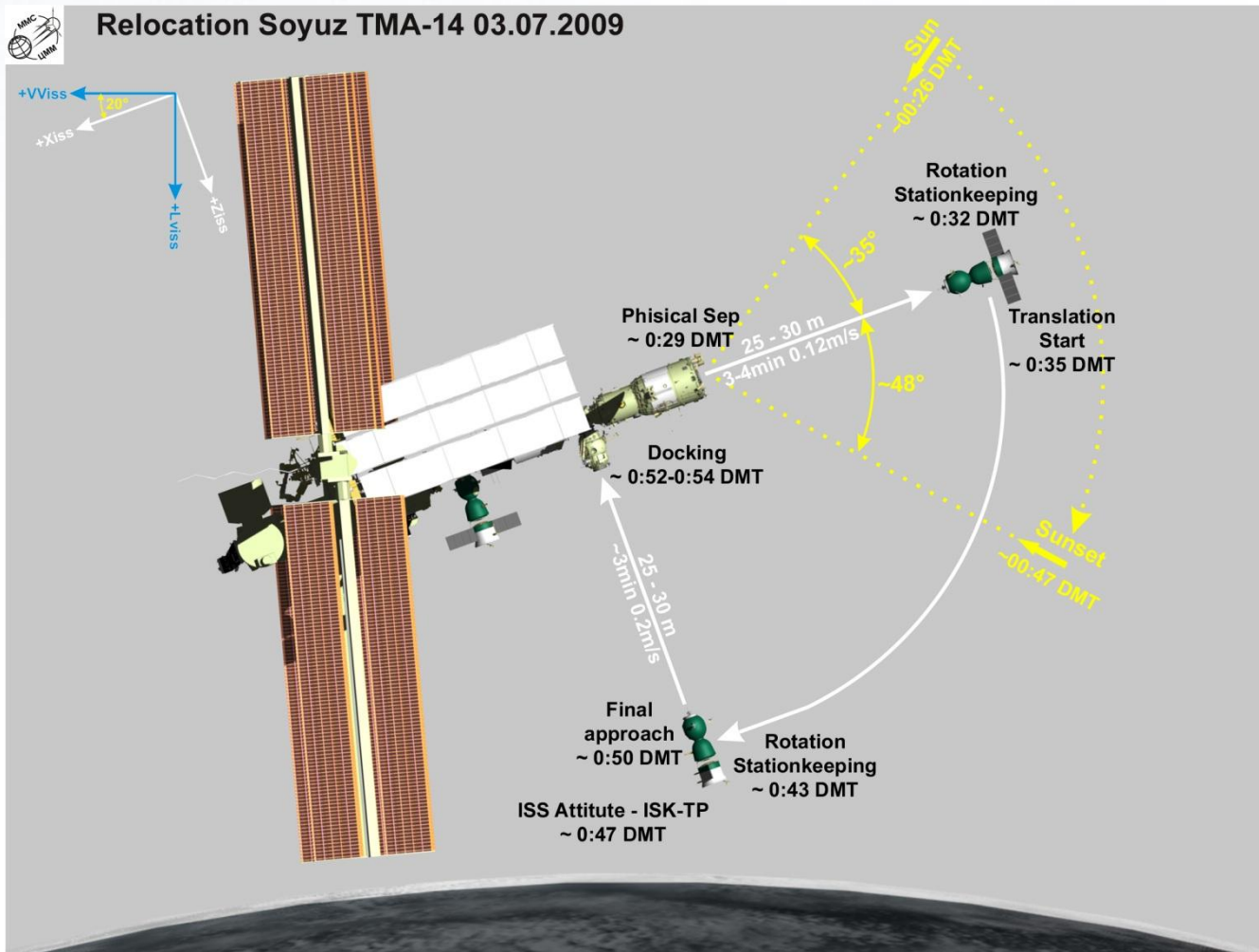


Графическое моделирование полетных операций

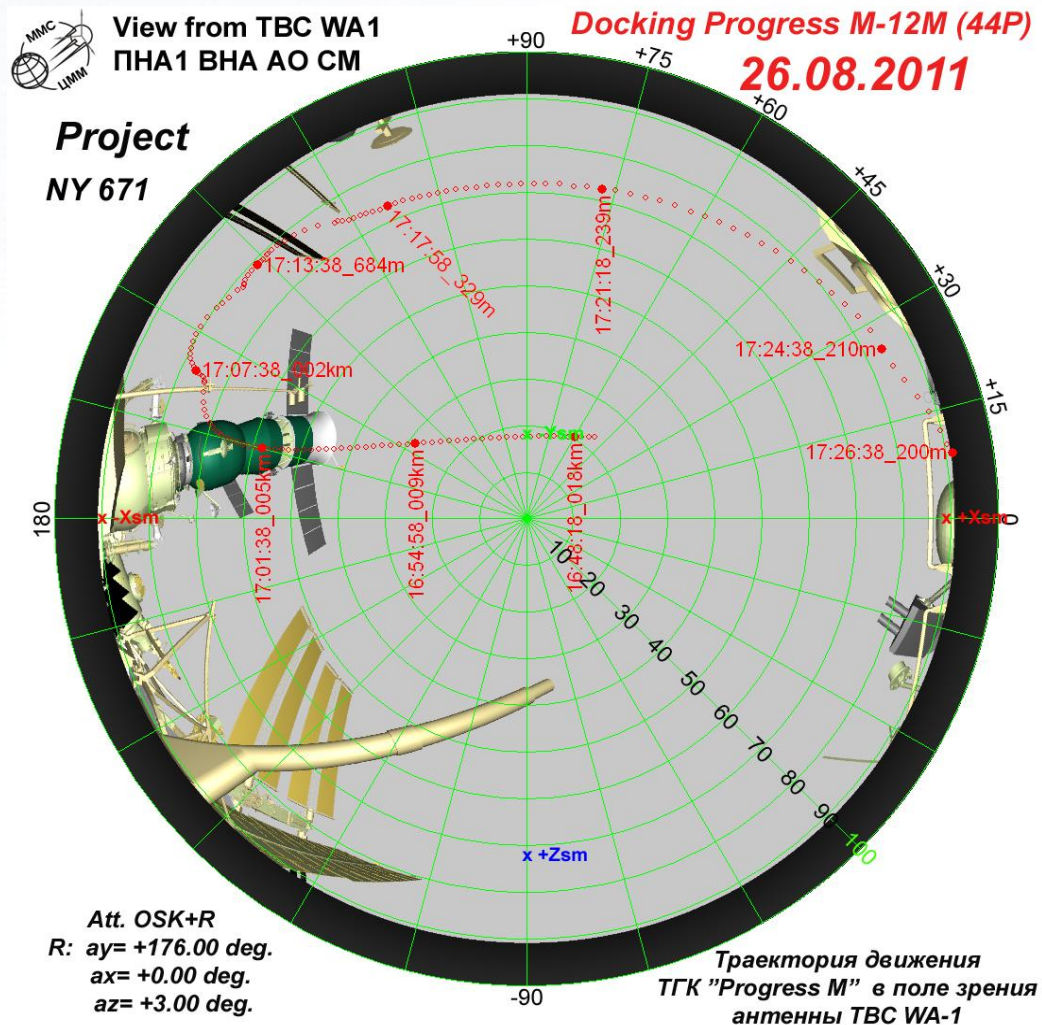
Графическое
моделирование

- Графическое отображение траектории движения объектов в полях зрения служебной и научной аппаратуры
- Графики относительного движения КА при сближении и стыковке
- Графическое отображение баллистико-навигационной информации
- Циклограммы связи для полетных операций
- Графическое отображение результатов моделирования энергоприхода от СБ МКС
- Графическое отображение относительного движения при расстыковке и спуске транспортных и грузовых кораблей

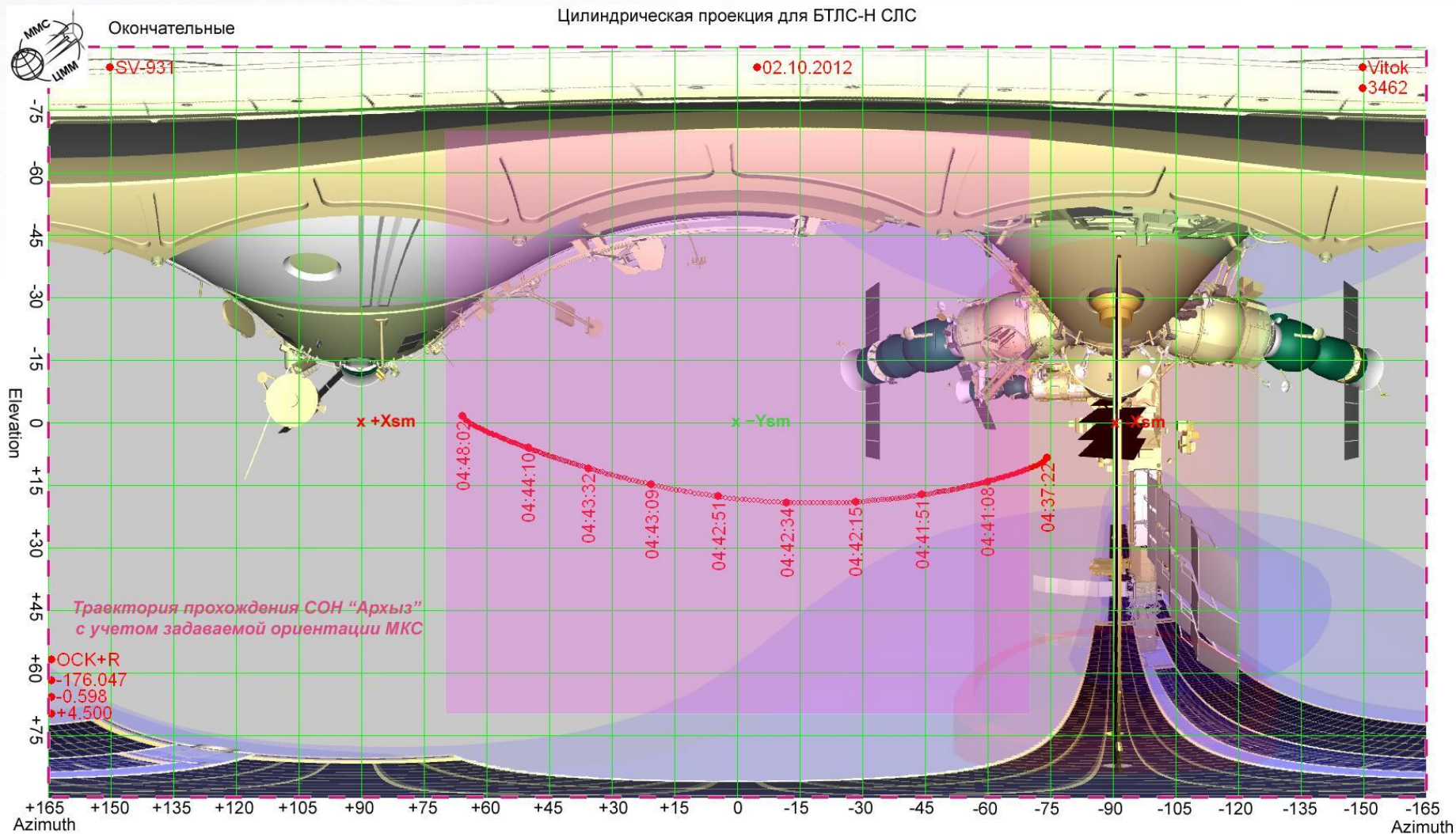
Схема перестыковки ТК «СОЮЗ ТМА-14»



Траектория прохождения «ПРОГРЕССА М-12М» при сближении с МКС



Траектория прохождения зон НИП «АРХЫЗ» в поле зрения аппаратуры космического эксперимента СЛС



Визуальное моделирование полетных операций

Визуальное
моделирование

- Моделирование областей затенения диаграмм направленности аппаратуры конструкциями МКС
- Моделирование освещенности конструкции МКС и свето-теневой обстановки для обеспечения ВКД, динамических операций и экспериментов
- Моделирование и визуализация положения подвижных элементов конструкции МКС для проведения динамических операций и экспериментов
- Моделирование и визуализации внешнего вида МКС и освещенности стыковочных мишеней при проведении операции стыковки и расстыковки
- Визуальные схемы и рисунки для сложных динамических операций с целью повышения наглядности и информативности при проведении полетных операций

Моделирование затенений антенн РС МКС

Программа расчета зон связи

Файл Установки Дополнительно О программе

Печать X Закрыть

Общий вид МКС | Круговая диаграмма | Плоская суммарная диаграмма | Таблица

Основной объект (МКС) | Второй объект |

Дата: 29 декабря 2007 г. | Время: 7:23:42 | Виток: 154(1)

Интервал расчета (витки): 1

Шаг расчета (сек.): 10

ИСХОДНЫЕ (из БД) ИСХОДНЫЕ (из Файла)

План ориентации: Расчет изменений

Конец (дата)	Конец (вр)	Тип	aX	aY	aZ
29.12.2007	8:54:53	ОСК	1,8874039E	-177,78	6,6035E

Источник:

Расчет затенений

- [TKG(SM)] Клест WA1K
- [TKG(CO1)] БР-9ЦУ-3 WA1
- [TKG(CO1)] Клест WA2K
- [TKG(CO1)] Квант-В ВНА2 V
- [TKG(CO1)] Квант-В ВНА2 V
- [TKG(CO1)] 38Г6 WA9
- [TKG(CO1)] 38Г6 WA10
- [TKG(CO1)] Квант-В ВНА1 V
- [TKG(CO1)] Квант-В ВНА1 V
- [TKG(CO1)] Квант-В ВНА1 V
- [TKG(CO1)] ТОРУ WA1
- [TKG(CO1)] Клест WA1K
- [TKG(CO2)] Рассвет WA8
- [TK(CO2)] БР-9ЦУ-3 WA1
- [TK(CO2)] Квант-В ВНА2 W
- [TK(CO2)] Квант-В ВНА2 W
- [TK(CO2)] 38Г6 WA2
- [TK(CO2)] 38Г6 WA2
- [TK(CO2)] Квант-В ВНА1 W
- [TK(CO2)] Квант-В ВНА1 W
- [TK(CO2)] Клест WA1
- [TK(CO2)] Клест WA2
- [TKG(CO2)] БР-9ЦУ-3 WA1
- [TKG(CO2)] Клест WA2K
- [TKG(CO2)] Квант-В ВНА2 V
- [TKG(CO2)] Квант-В ВНА2 V
- [TKG(CO2)] 38Г6 WA9
- [TKG(CO2)] 38Г6 WA10
- [TKG(CO2)] Квант-В ВНА1 V
- [TKG(CO2)] Квант-В ВНА1 V
- [TKG(CO2)] ТОРУ WA1
- [TKG(CO2)] Клест WA1K
- [TK(FGB)] Рассвет WA8
- [TK(FGB)] БР-9ЦУ-3 WA1

Цель:

- ОБН/Обнинск
- ШЛК/Шелково
- СПб/Санкт-Петербург
- ДЖС/Джусалы
- БРЛ/Барнаул
- КЛП/Колпашево
- ВРК/Воркуга
- ЕНС/Енисейск
- ЧЛД/Чулан-Чуда
- ЯКТ/Якутск
- ЧСК/Чуссийск
- ППК/Петропавловск-Камчатск
- ДРУ/Драйден
- WNS/Уайт Сэндс
- WAL/Уоллопс
- МНХ/Мюнхен
- МДВ/Медвежье Озеро
- НВС/Новосибирск
- НОЕ/Нойштерлиц
- БЛХ/Балхаш
- 44/
- ЕВП/Евпатория

Текущее время Отображать время

Показывать линия

Прогон

Шаг прогноза: 1

LVx: 0,88789554 X: -10590

LVy: 0 Y: 9513

LVz: -0,4600451 Z: -543

154(1)

29.12.2007 7:36:32

29.12.2007 7:35:12

Расчет зон связи с помощью моделирования

Программа расчета зон связи
_ □ ×

Файл Установки Дополнительно О программе

Печать X Закрыть

Общий вид МКС Круговая диаграмма Плоская суммарная диаграмма Таблица

Антенна:
[TKG(CO2)] Квант-В ВНА1 WA8]
Интервал расчета:
29.12.2007 7:23:42 - 29.12.2007 8:54:53

Тек. время: 29.12.2007 7:48:52

УЛД: УМ = 35,848 / АЗ = 103,472
УСК: УМ = 4,745 / АЗ = 306,021

Основной объект (МКС) | Второй объект |

Дата: 29 декабря 2007 г. | Время: 7:23:42 | Виток: 154(1)

Интервал расчета (витки): 1

Шаг расчета (сек.): 10

ИСХОДНЫЕ (из БД) ИСХОДНЫЕ (из Файла)

План ориентации: Расчет изменений

Конец (дата)	Конец (вр)	Тип	αX	αY	αZ
29.12.2007	8:54:53	ОСК	1,88740395	-177,78	6,60355

Источник:

Расчет затенений

- [TKG(SM)] Клетт WA1K
- [TKG(CO1)] БР-9ЦУ-3 WA1
- [TKG(CO1)] Клетт WA2K
- [TKG(CO1)] Квант-В ВНА2 V
- [TKG(CO1)] Квант-В ВНА2 V
- [TKG(CO1)] 38Г6 WA9
- [TKG(CO1)] 38Г6 WA10
- [TKG(CO1)] Квант-В ВНА1 V
- [TKG(CO1)] Квант-В ВНА1 V
- [TKG(CO1)] ТОРЧ WA1
- [TKG(CO1)] Клетт WA1K
- [TK(CO2)] Рассвет WA8
- [TK(CO2)] БР-9ЦУ-3 WA1
- [TK(CO2)] Квант-В ВНА2 W
- [TK(CO2)] Квант-В ВНА2 W
- [TK(CO2)] 38Г6 WA1
- [TK(CO2)] 38Г6 WA2
- [TK(CO2)] Квант-В ВНА1 W
- [TK(CO2)] Квант-В ВНА1 W
- [TK(CO2)] Клетт WA1
- [TK(CO2)] Клетт WA2
- [TKG(CO2)] БР-9ЦУ-3 WA1
- [TKG(CO2)] Клетт WA2K
- [TKG(CO2)] Квант-В ВНА2 V
- [TKG(CO2)] Квант-В ВНА2 V
- [TKG(CO2)] 38Г6 WA9
- [TKG(CO2)] 38Г6 WA10
- [TKG(CO2)] Квант-В ВНА1 V
- [TKG(CO2)] Квант-В ВНА1 V
- [TKG(CO2)] ТОРЧ WA1
- [TKG(CO2)] Клетт WA1K
- [TK(FGB)] Рассвет WA8
- [TK(FGB)] БР-9ЦУ-3 WA1

Цель:

- ОБН/Обнинск
- ШПК/Щелково
- СПБ/Санкт-Петербург
- ДЖС/Джусалы
- БРЛ/Барнаул
- КЛП/Колпашево
- ВРК/Воркута
- ЕНС/Енисейск
- УЛД/Улан-Удэ
- ЯКТ/Якутск
- УСК/Уссурийск
- ППК/Петропавловск-Камчатск
- ДРУ/Драйден
- WNS/Уайт Сэндс
- WAL/Уоллопс
- МНХ/Мюнхен
- МДВ/Медвежья Озера
- НВС/Новосибирск
- NOE/Нойштерлиц
- БЛХ/Балхаш
- 44/
- ЕВП/Евпатория

Текущее время Отображать время

Показывать линия

Прогон LVx: 0,88789554 X: -10590

Шаг прогона: 1 LVy: 0 Y: 9513

LVz: -0,4600451 Z: -543

07:48:52

154(1)

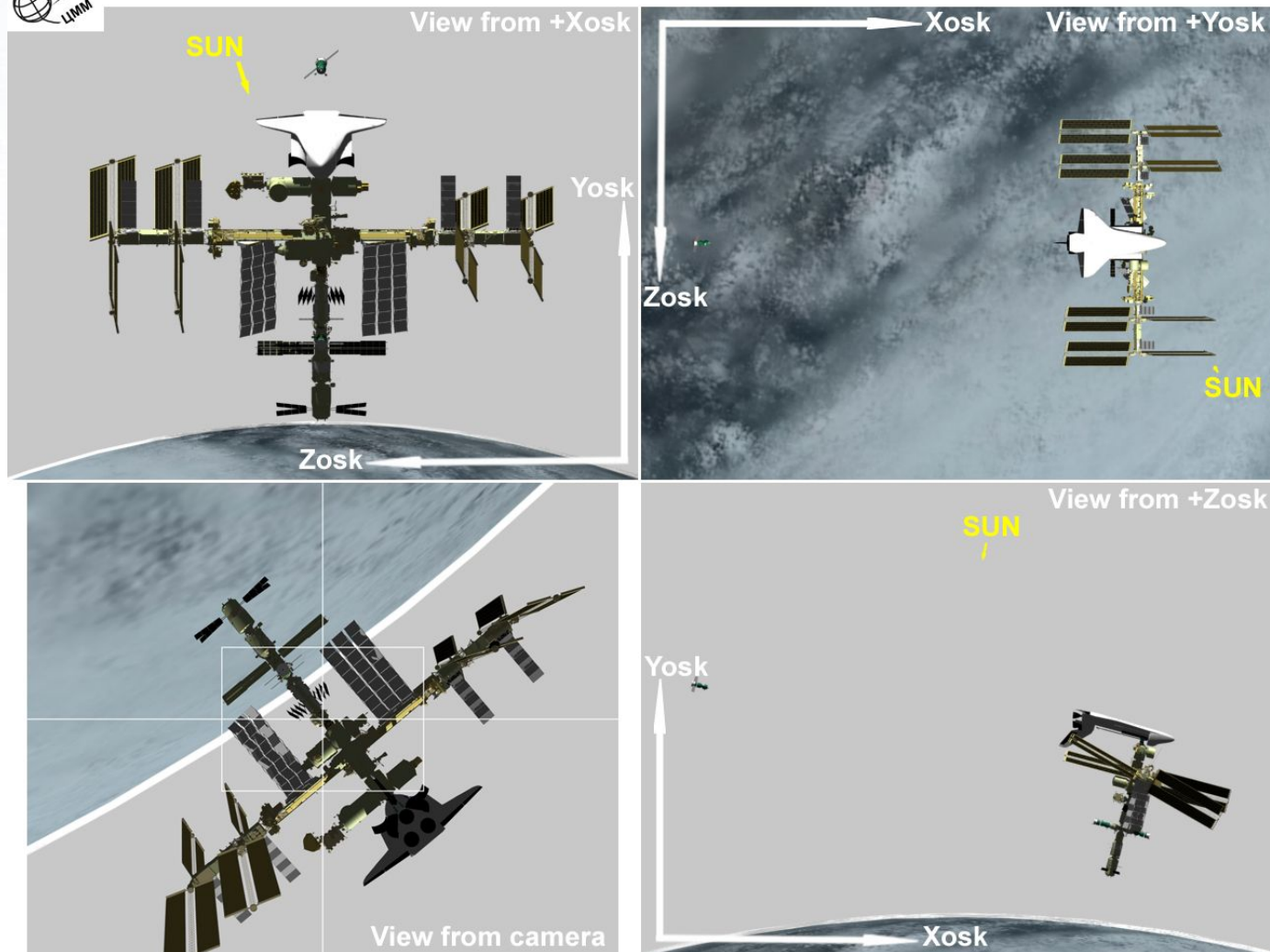
29.12.2007 7:48:52

29.12.2007 7:36:32

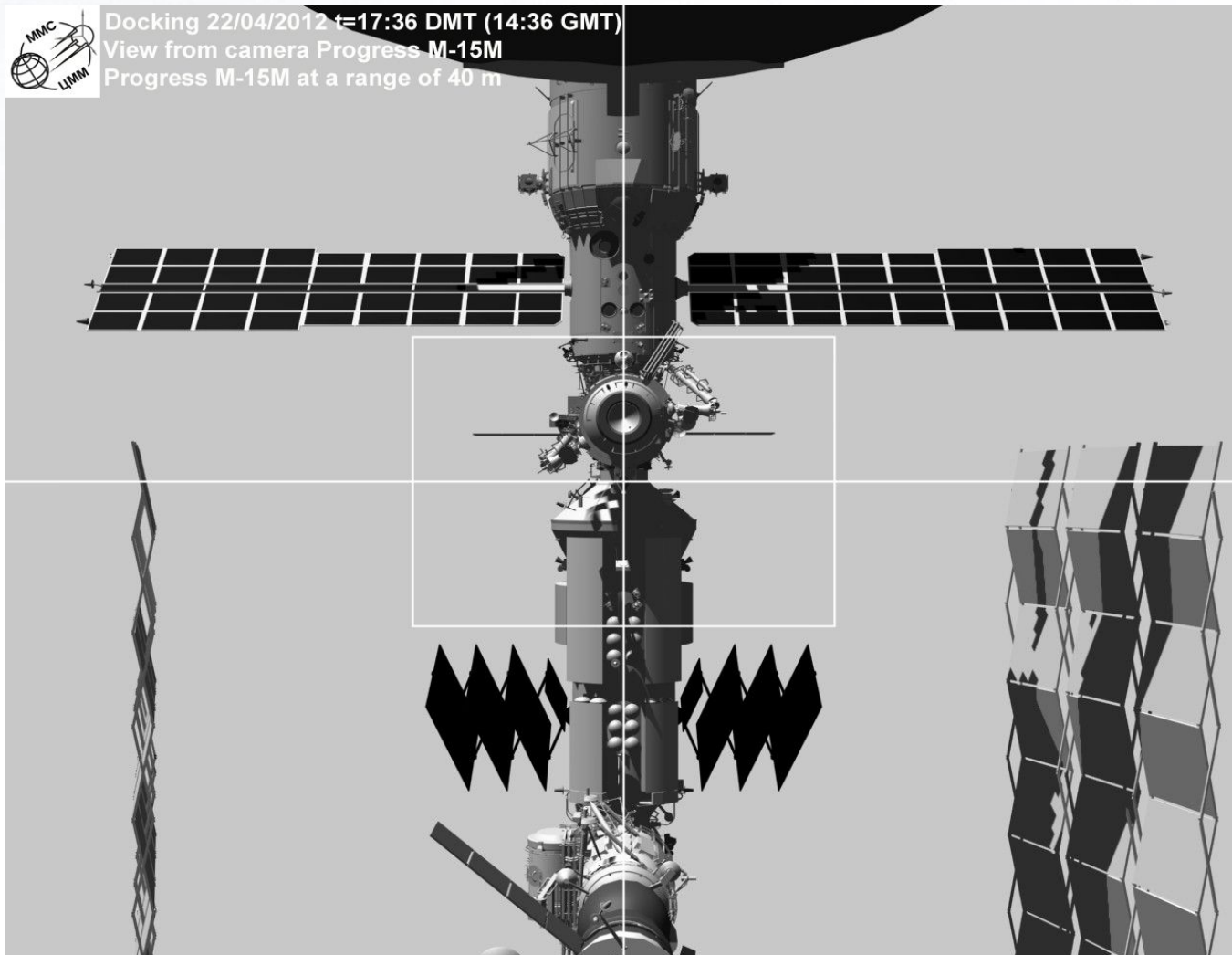
Отображение расстыковки ТК «СОЮЗ ТМА-20» от МКС в связке с ОК «Шаттл»



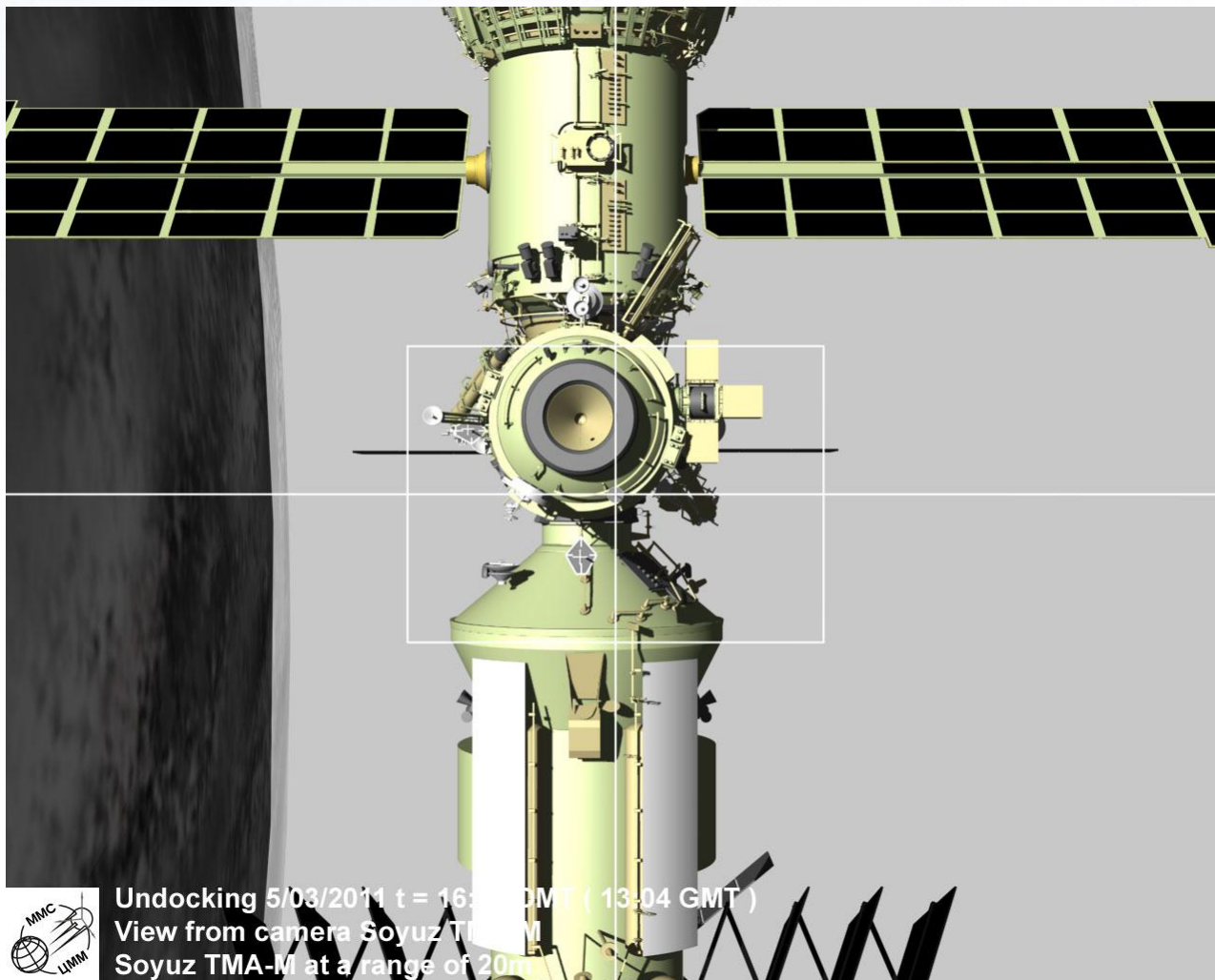
Flyaround 24/05/2011 0:50 DMT (21:50 GMT) : Soyuz TMA-20 at a range of 180m



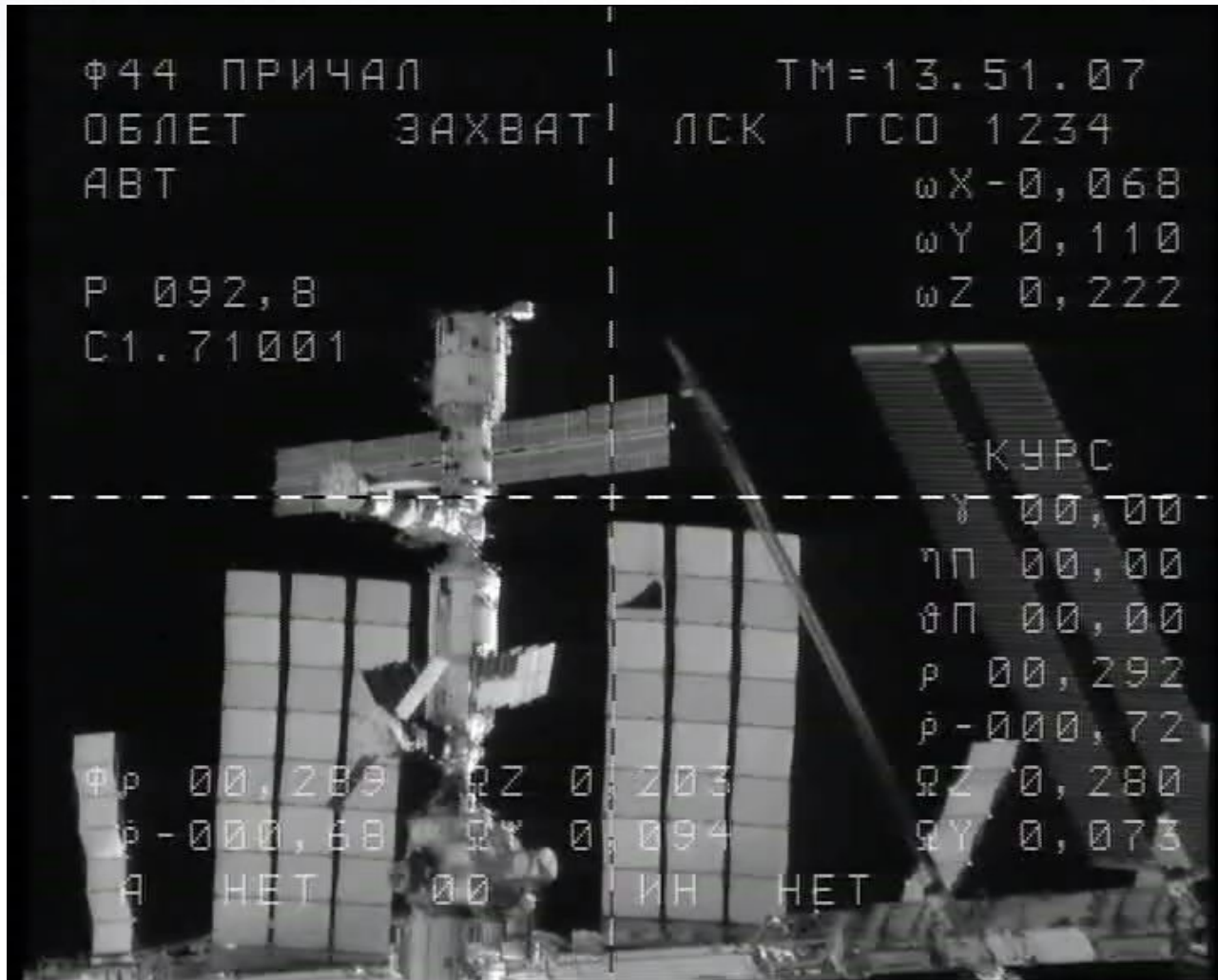
Вид стыковочной мишени при стыковке «ПРОГРЕССА М-15М» расстояни 40 метров от МКС



Вид стыковочной мишени при расстыковке ТК «СОЮЗ ТМА-М» на расстоянии 20 метров от МКС



Облет при сближении и стыковке к МКС "Прогресса М-67"



Комплексный моделирующий стенд задачи

Комплексный моделирующий стенд предназначен для решения следующих задач:

- Отработка методик управления бортовым контуром управления КА ;
- Отработка детального плана полета (номинального и резервного);
- Проверка сеансов связи;
- Проверка взаимодействия ПО бортового и наземного контуров управления
- Отработка бортовой документации ;
- Подготовка персонала ГОГУ к управлению полетом;
- Сопровождение полета КА (в режиме опережения);
- Послеполетное моделирование (при необходимости).

Комплексный моделирующий стенд структура

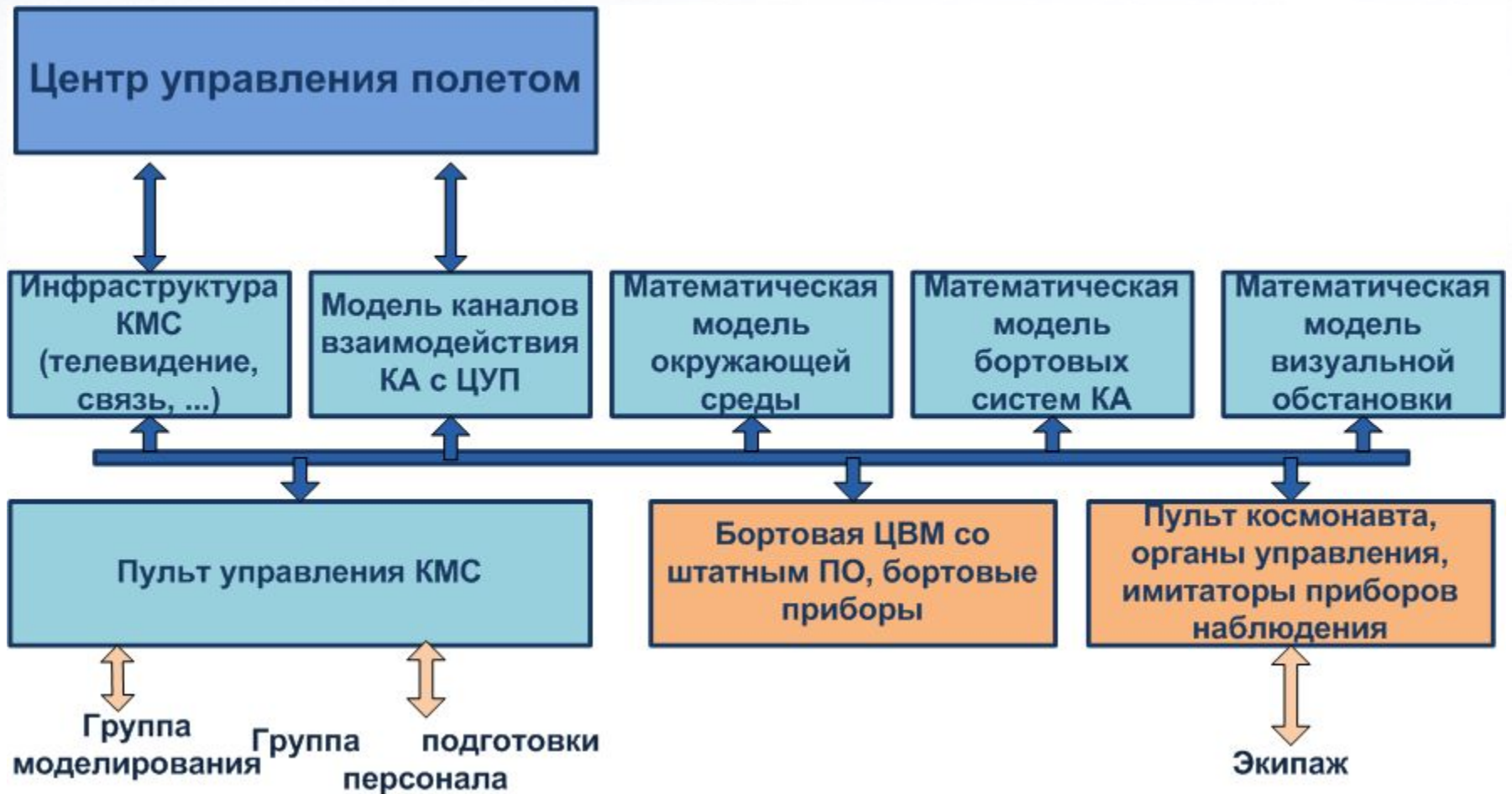
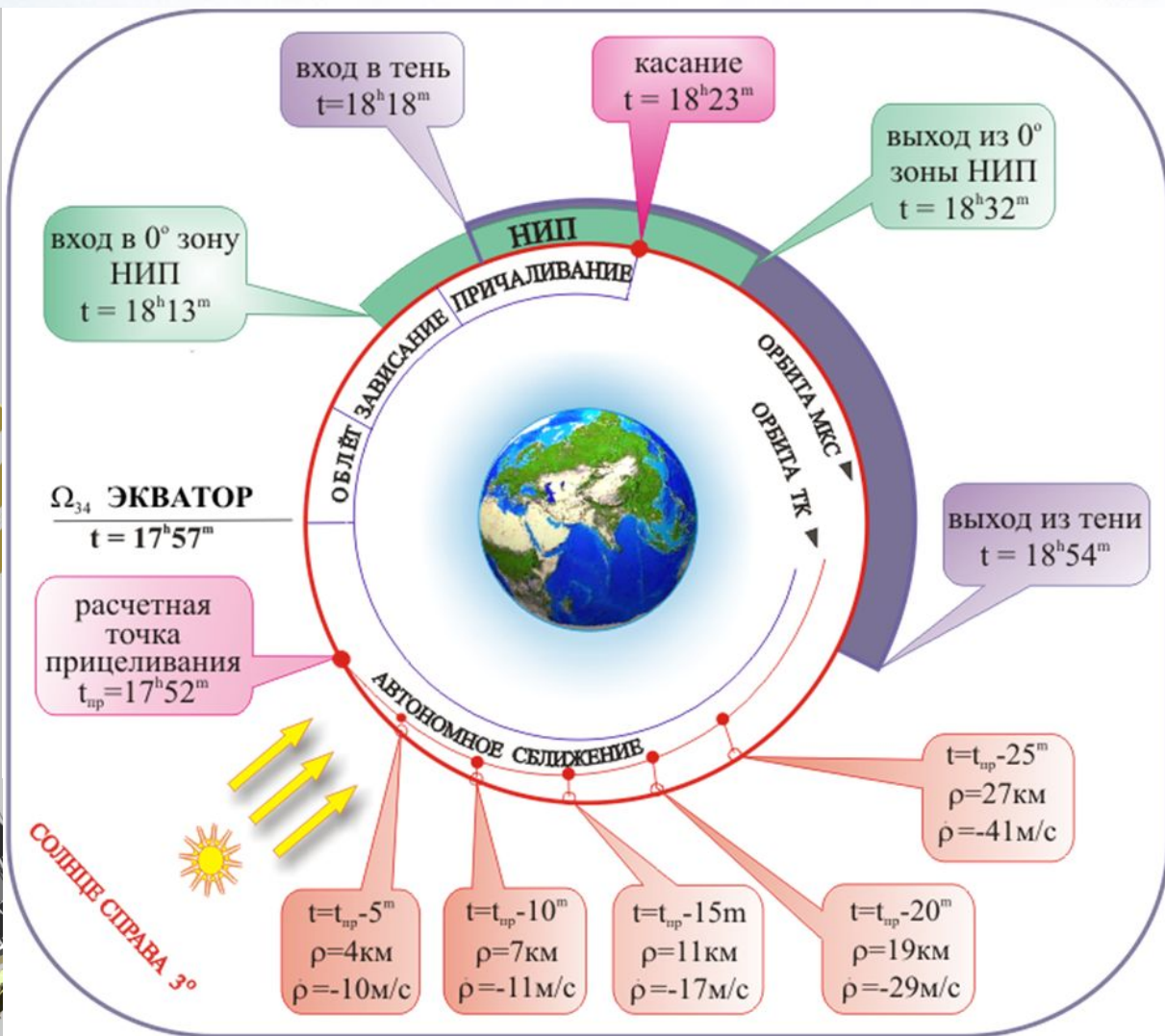
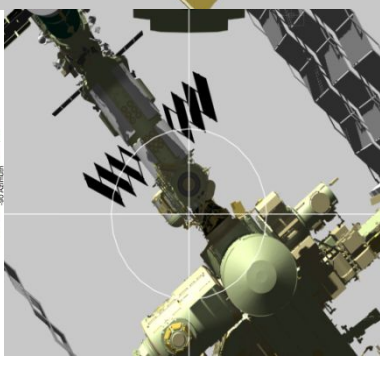
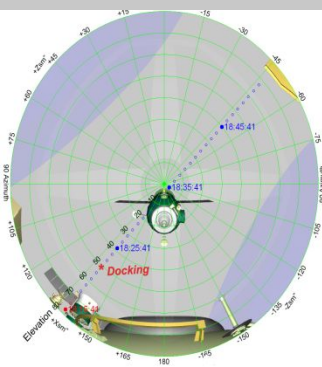
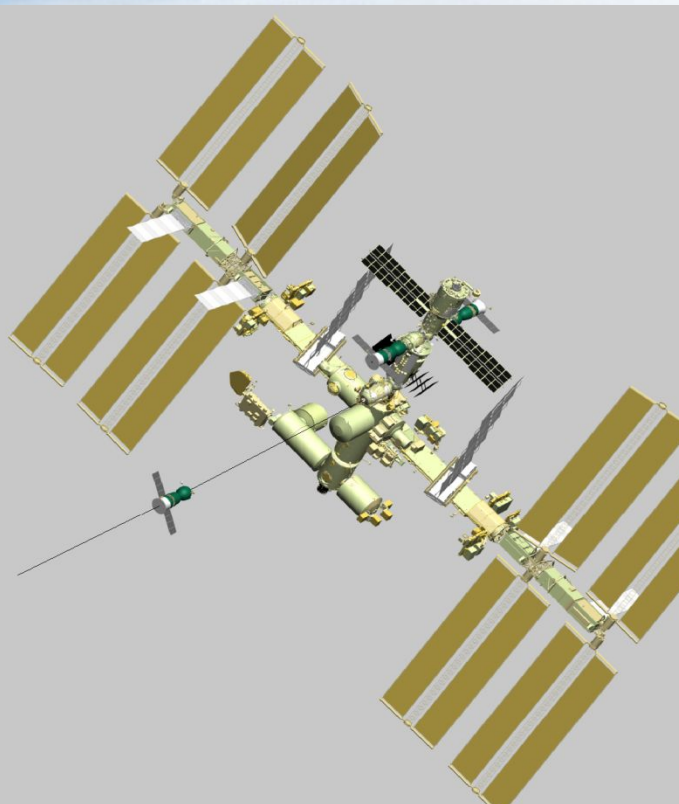
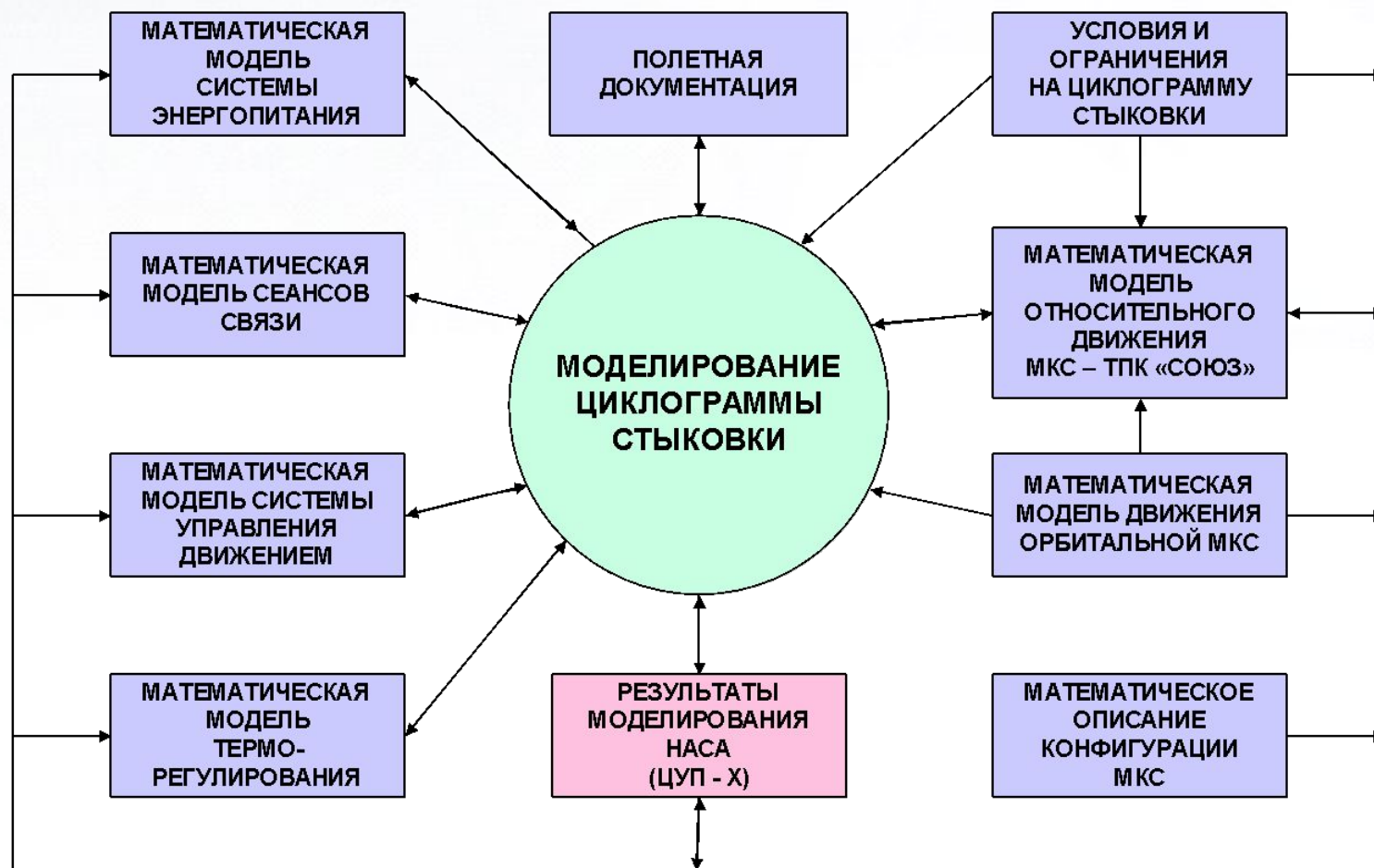


СХЕМА СБЛИЖЕНИЯ И СТЫКОВКИ ТПК «СОЮЗ» С МКС



Моделирование процесса стыковки



ТПК «Союз» в составе РС МКС



Конец лекции