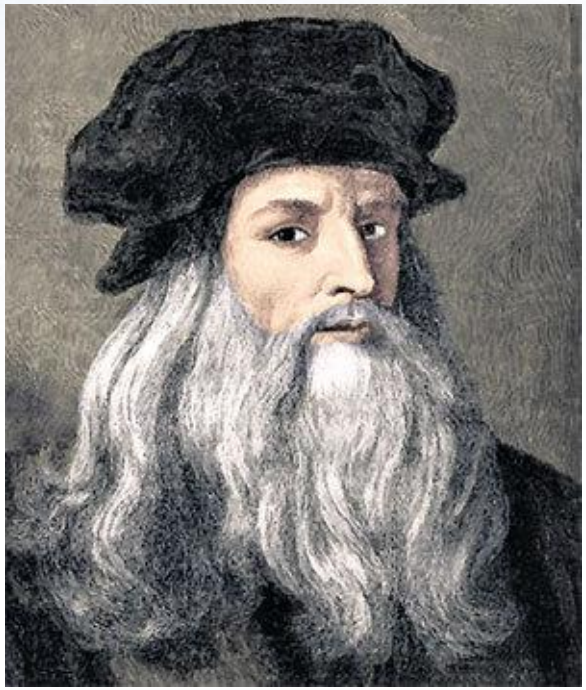
Полеты в космос. Оперативное управление космическими аппаратами

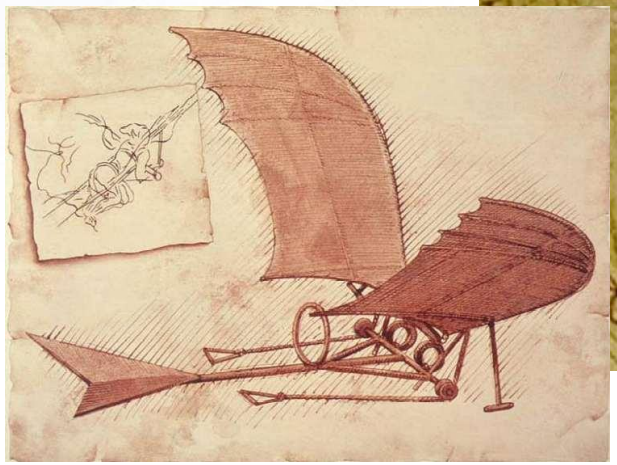
Моделирование полета КА

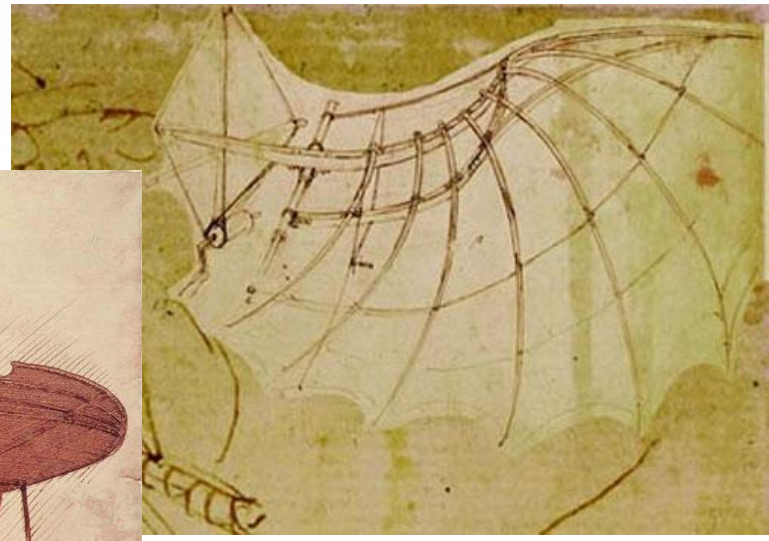
Профессор В.А. Соловьёв

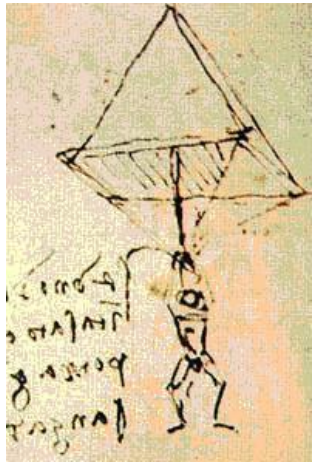
«…Моделирование – это практическое или теоретическое исследование объекта, при котором непосредственно изучается не сам интересующий нас объект, а некоторая вспомогательная, искусственная или естественная система…»

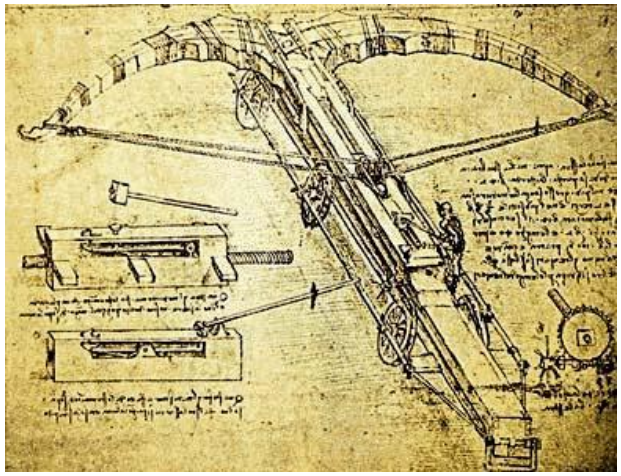
(Алексей Андреевич Ляпунов)











Леона́рдо ди сер Пье́ро да Ви́нчи
(итал. *Leonardo di ser Piero da Vinci*)
15 апреля 1452 — 2 мая 1519

Модели

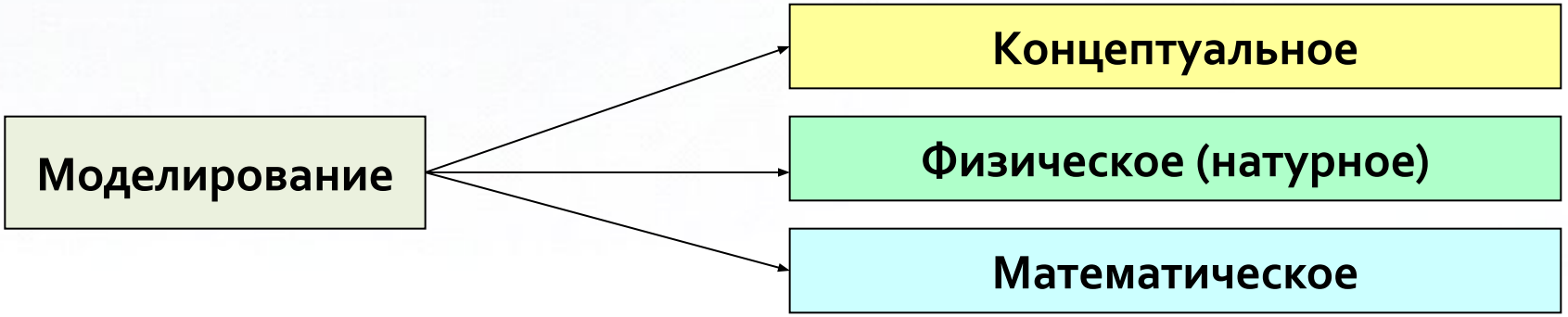
Модель (modele (фр.), modulus (лат.) – мера, аналог, образец; упрощенное представление реального устройства и/или протекающих процессов, явлений.

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.

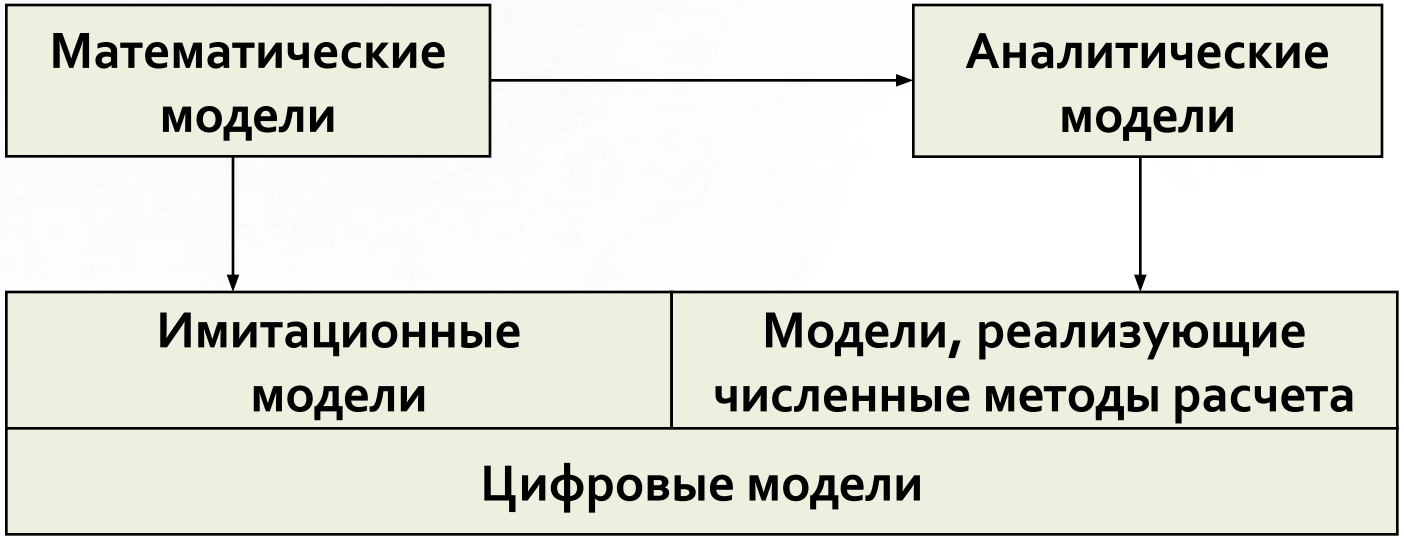


Концептуальное (содержательное) моделирование - метод, основанный на определении множества понятий и связей, являющихся смысловой структурой рассматриваемой предметной области.

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

Математическое моделирование – метод, основанный на математическом представлении реальности.

Глубина моделирования



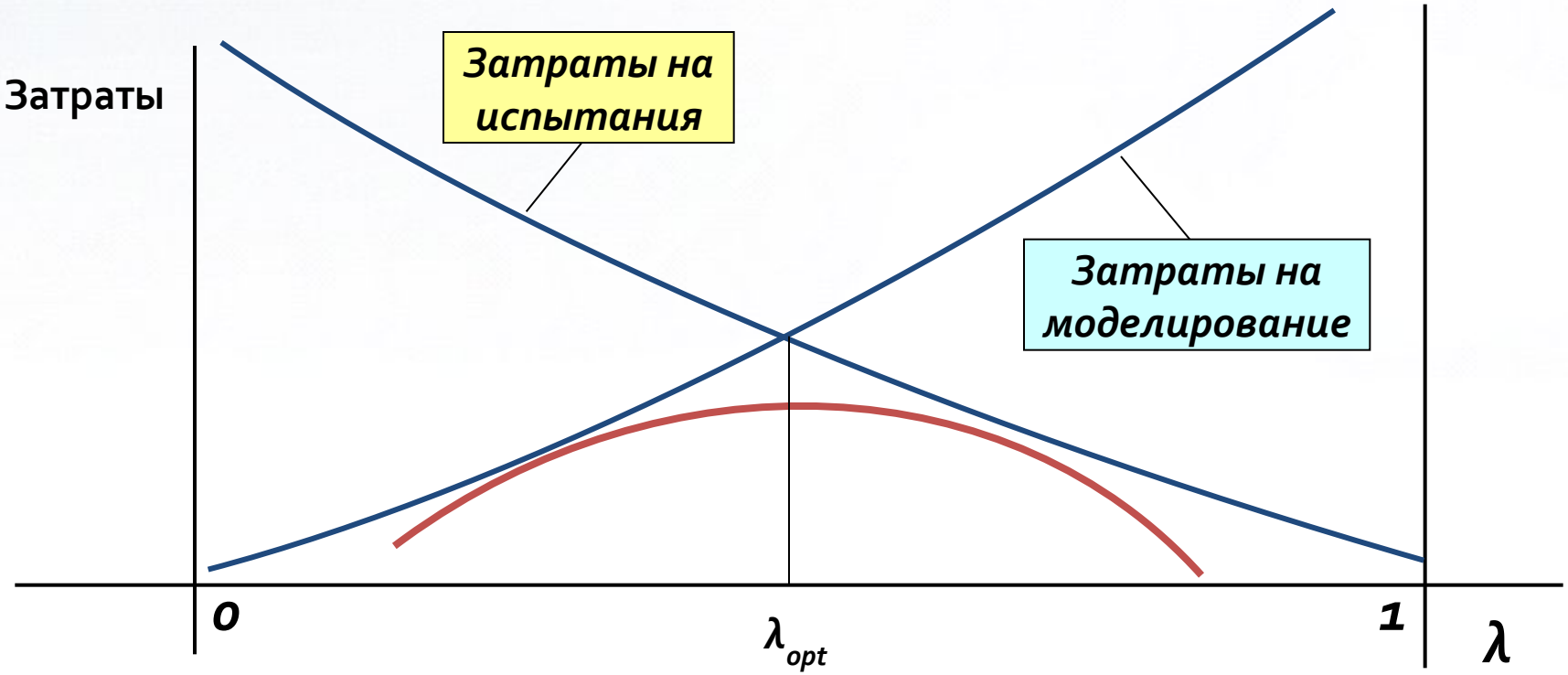
Глубина моделирования:

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.

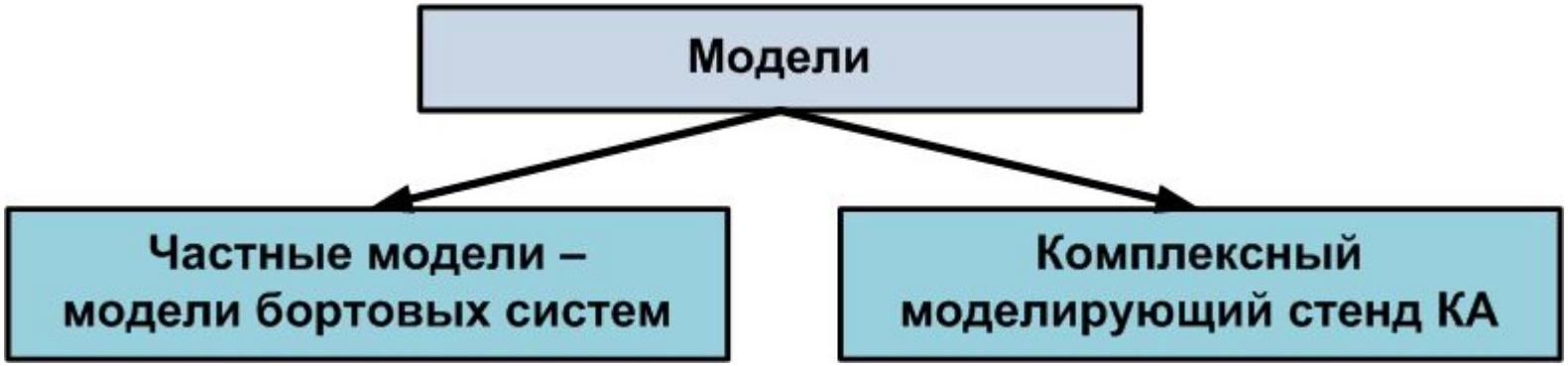
Значение λ =1 соответствует полностью отработанной системе.

Для реальных случаев λ_{opt} = 0,6 – 0,7 λ

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

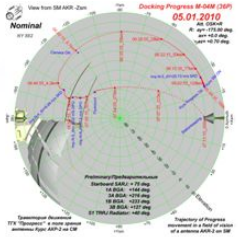
Физические модели

Стендовая база

Математические модели

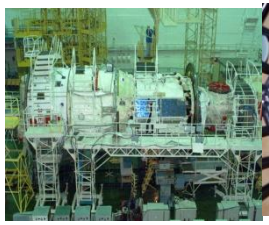
Трехмерное моделирование

Моделирование полей зрения антенн



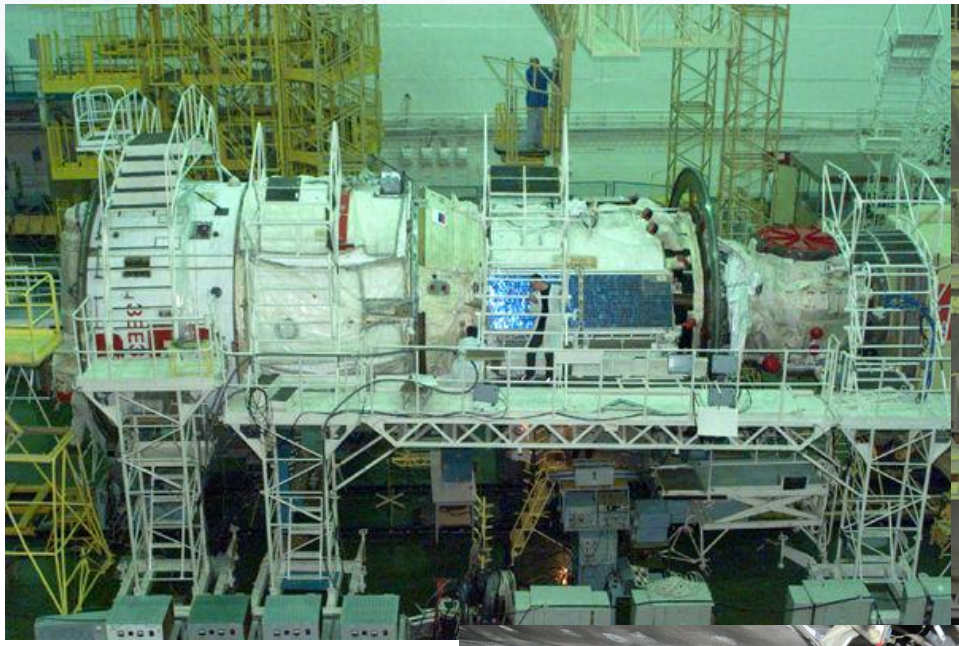
Комплексные модели

Комплексный моделирующий стенд



Физические модели КА

Физические моделирование внешней компоновки



Физические моделирование внутренней компоновки и интерьеров

Задачи математического моделирования для управления полетом КА

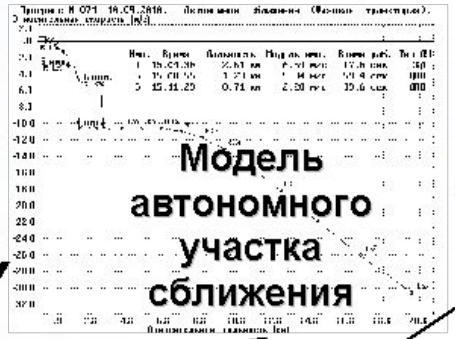
Математическая модель должна обеспечивать:

- **Моделирование работы бортовых систем КА и происходящих в них процессов;**
- **Отклик моделирующих систем КА на управляющие воздействия;**
- **Моделирование движения КА (цента 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

Модель гравитационного поля Земли

Модель плотности атмосферы

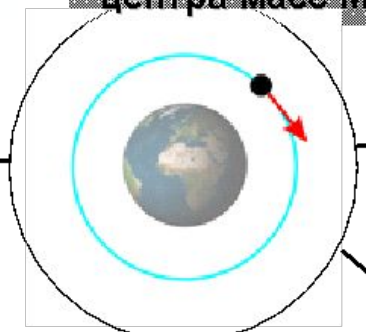


Модель автономного участка сближения

Модель создания динамических циклограмм

Модель движения центра масс МКС

Модель расчета ориентации и уставочной информации для закладки на борт



Модель относительного движения двух или нескольких тел

Модели научной аппаратуры для расчета целеуказаний

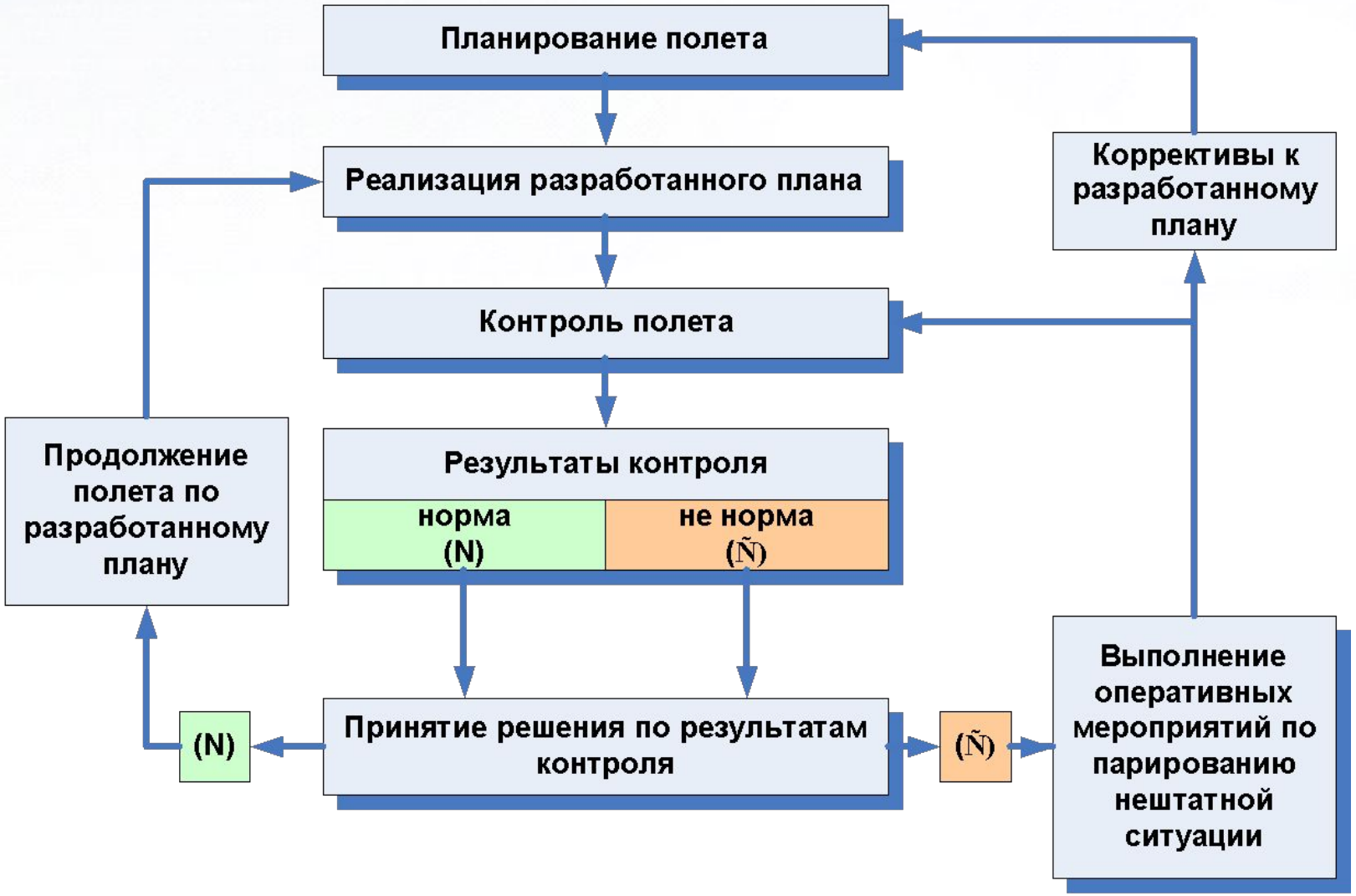
Модели работы двигателей

Модель расчета энергоприхода

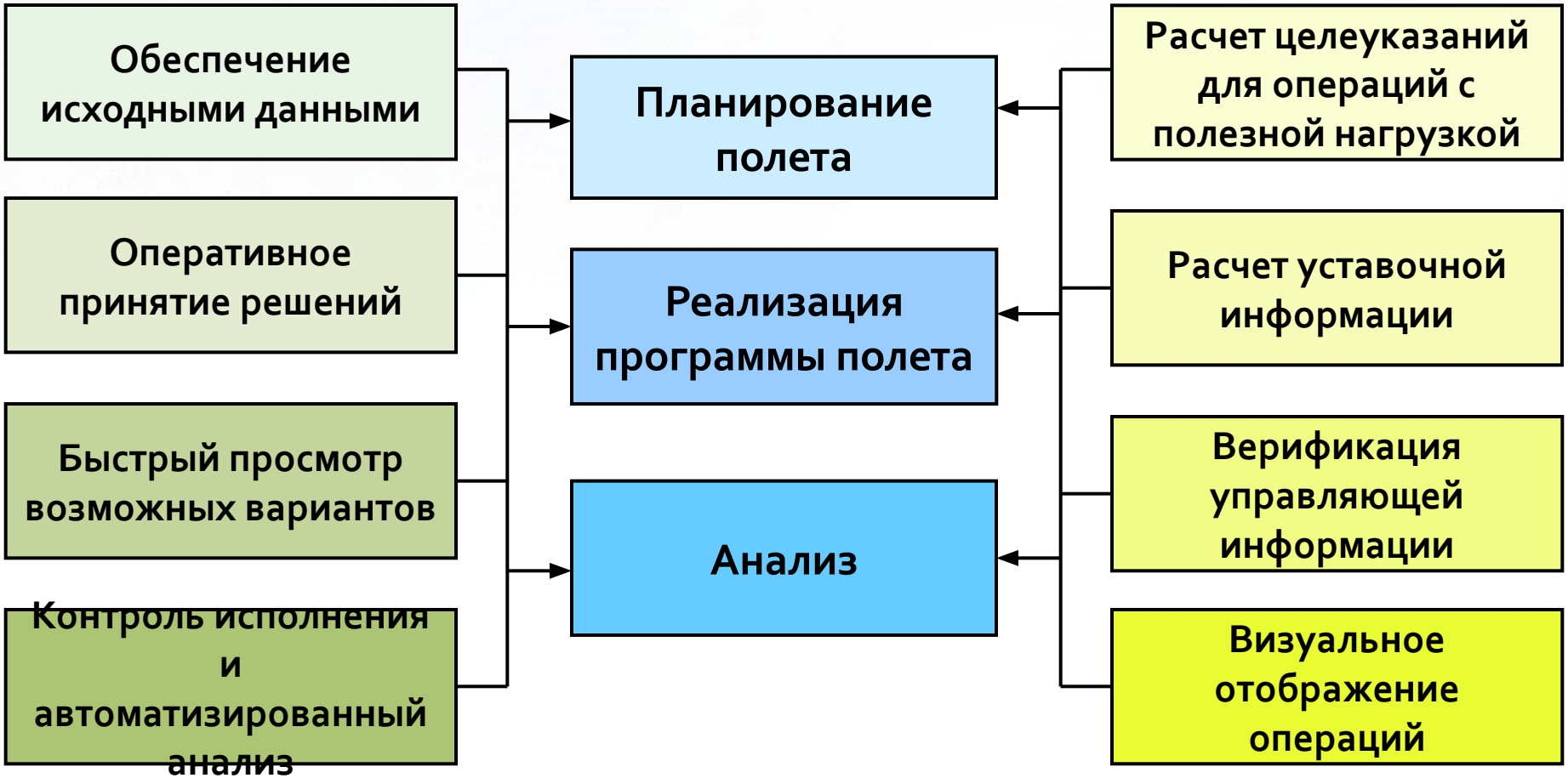
Модель полей зрения антенн, научной аппаратуры, иллюминаторов

Трехмерная математическая модель МКС

Управление полетом КА

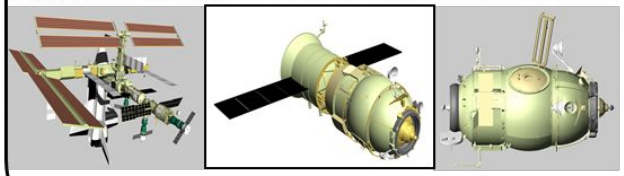


Место моделирования



Виды моделирования полетных операций

КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ МКС и КА



ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, БАЗЫ ДАННЫХ, МЕТОДИКИ

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

ВИЗУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

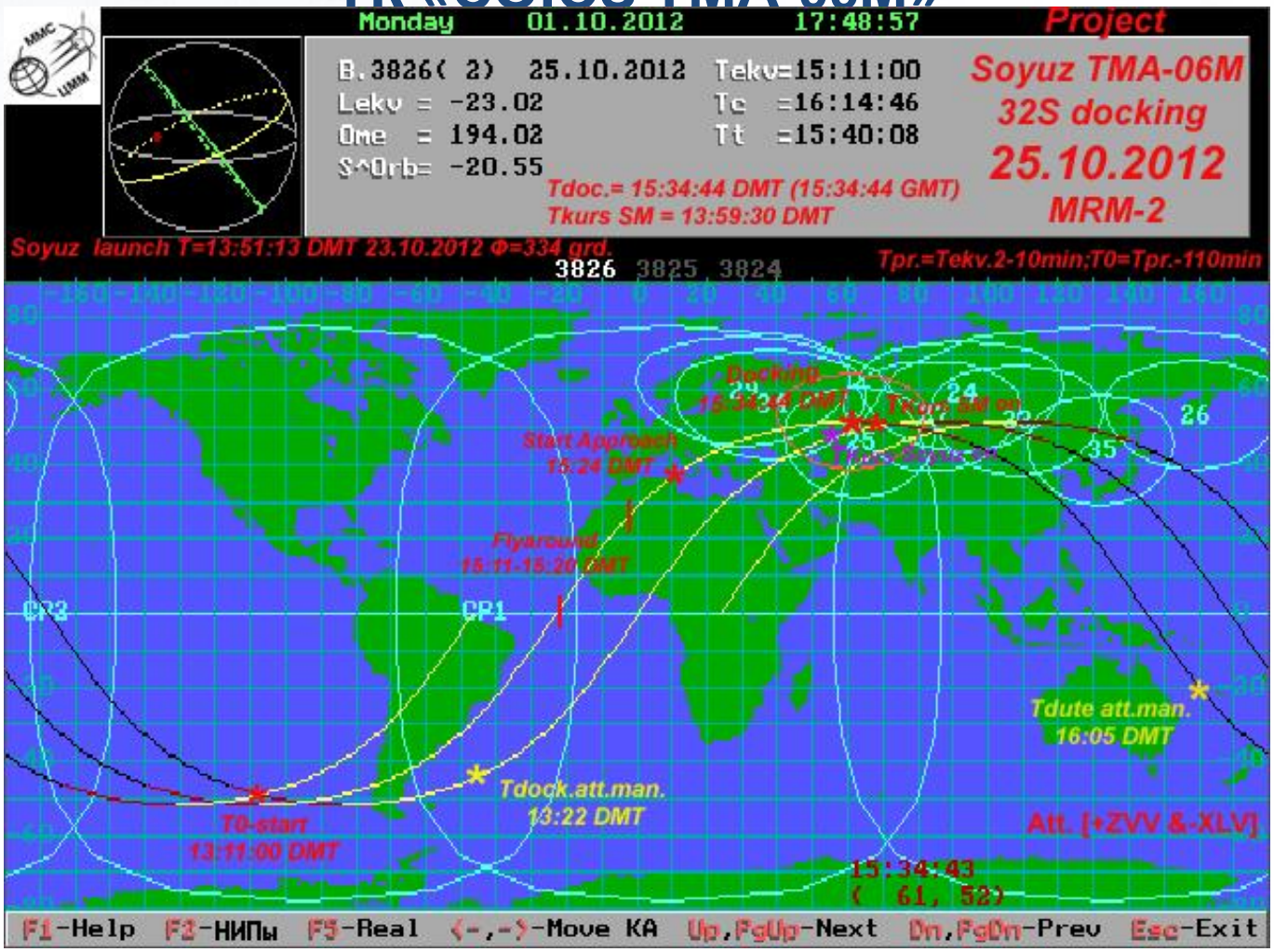
ГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Численное моделирование полетных операций

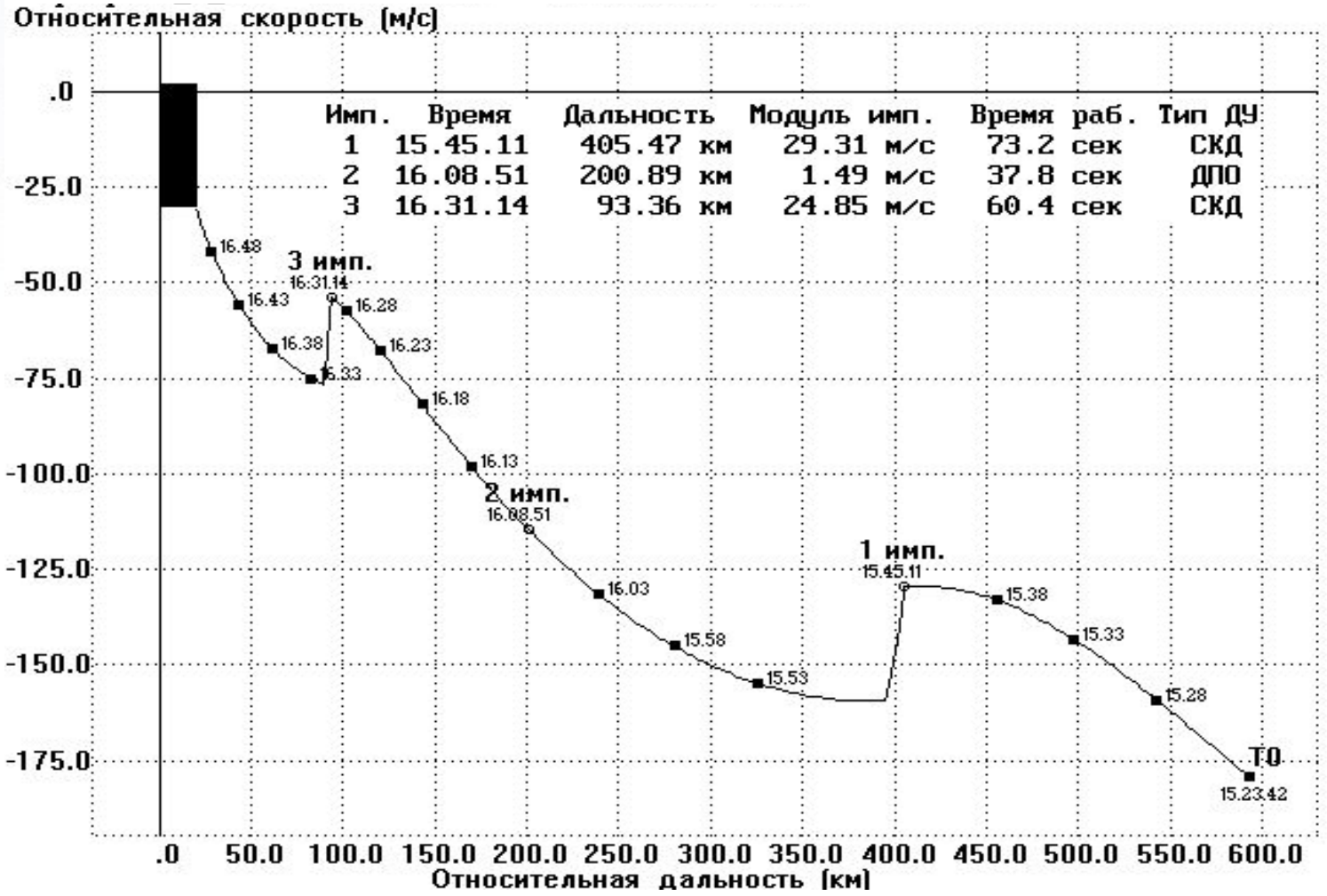
Численное моделирование

- **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;

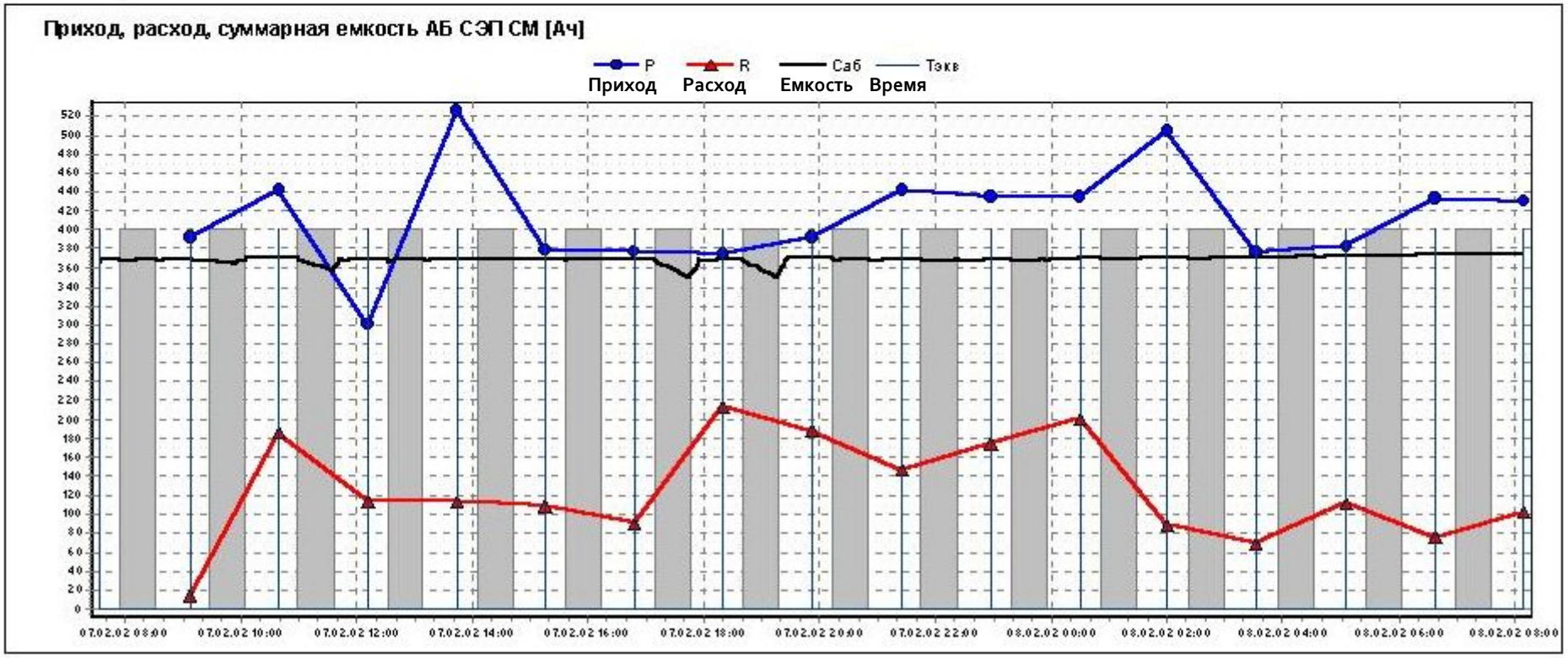
5) конфигурация МКС на интервале расчета.

Пример моделирования энергобаланса

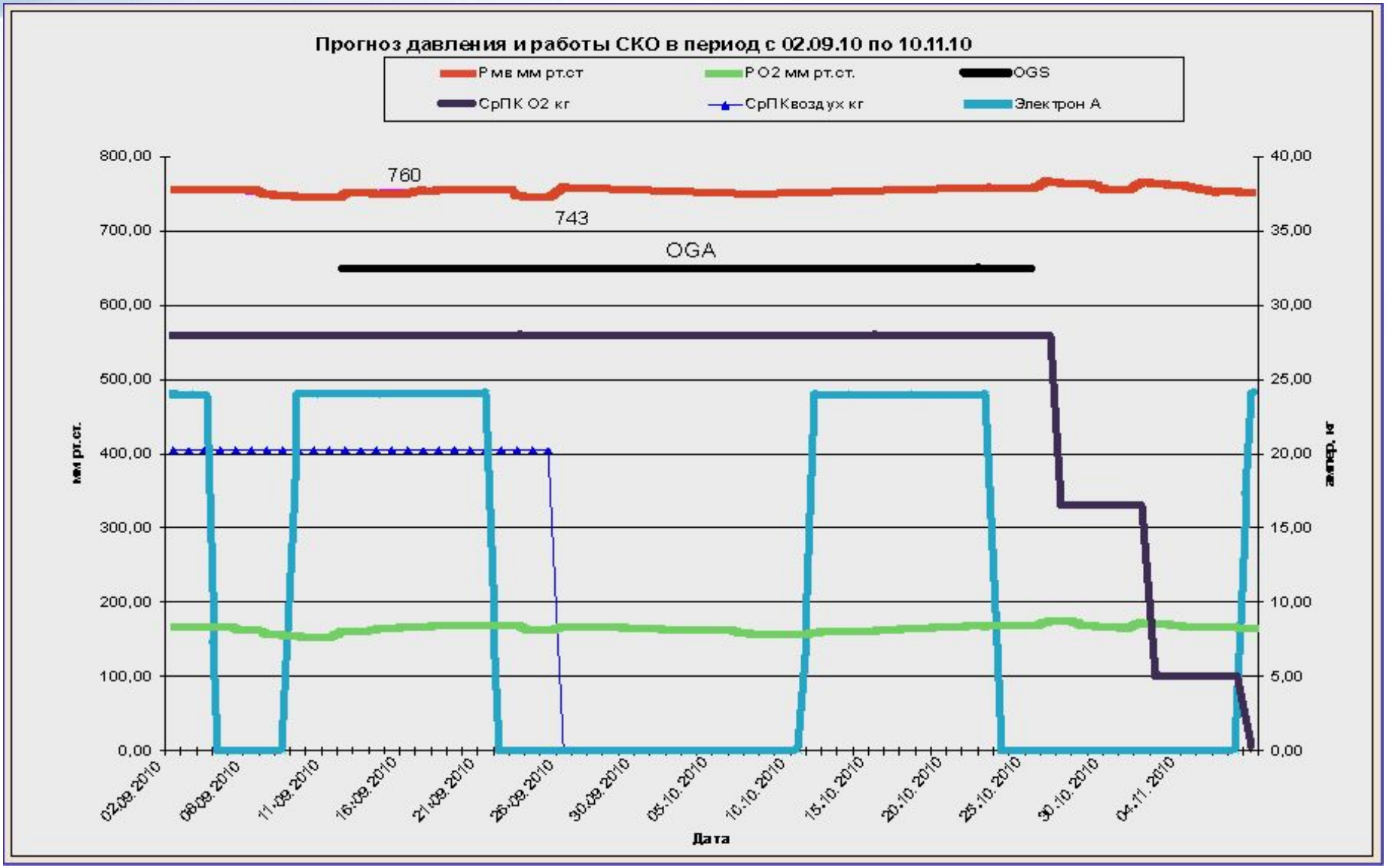
РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЭС

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	



Моделирование режимов работы средств кислородообеспечения РС МКС

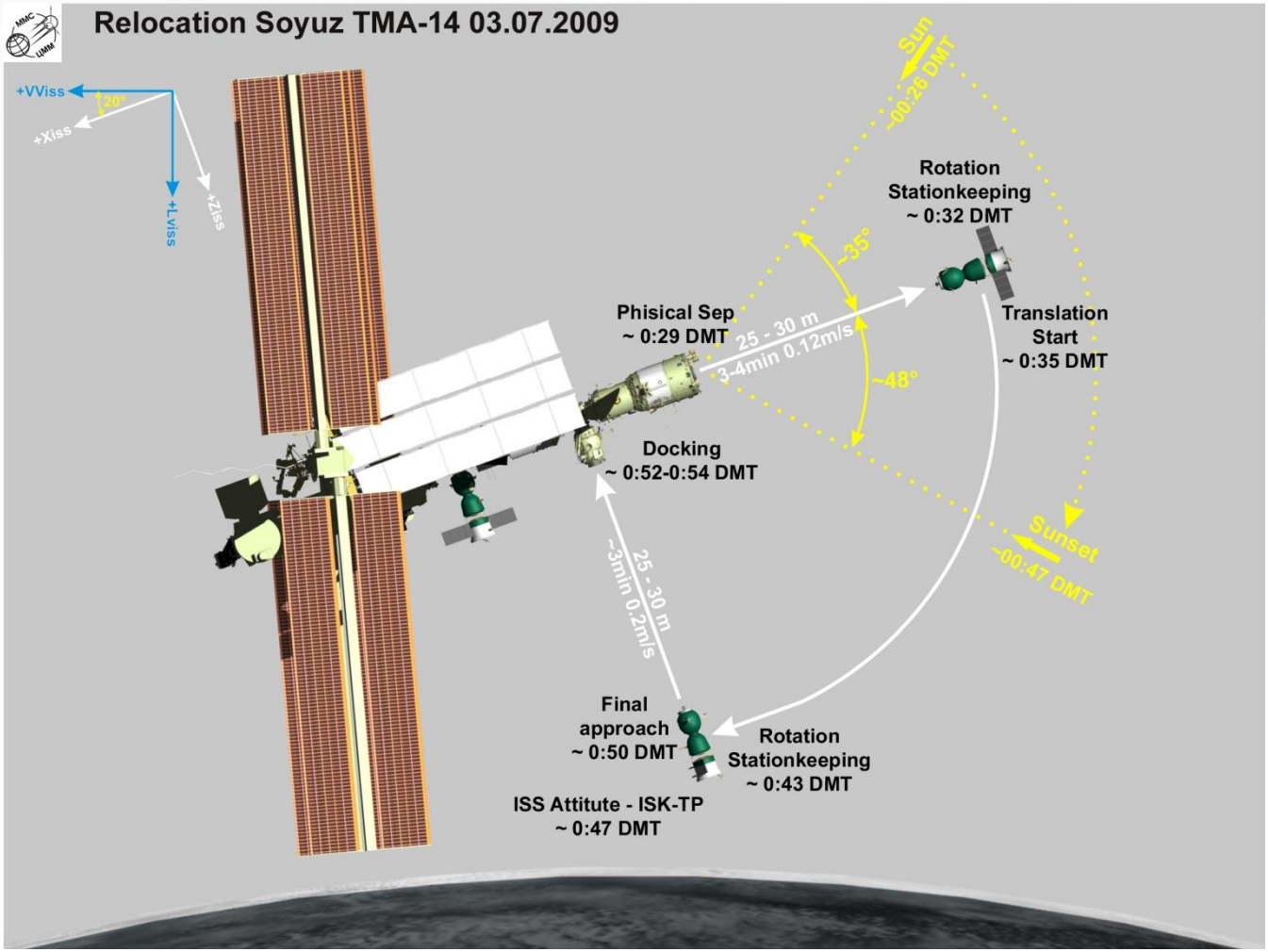


Графическое моделирование полетных операций

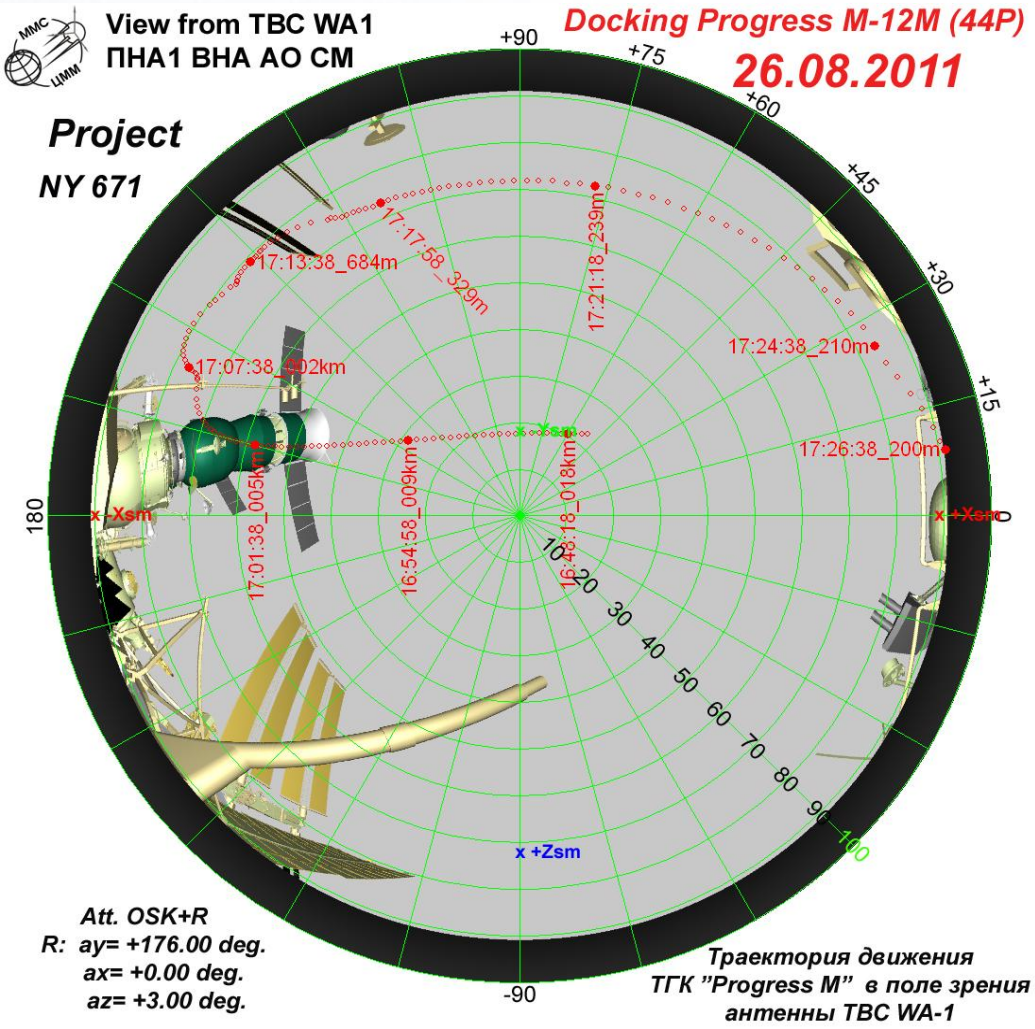
Графическое моделирование

- 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

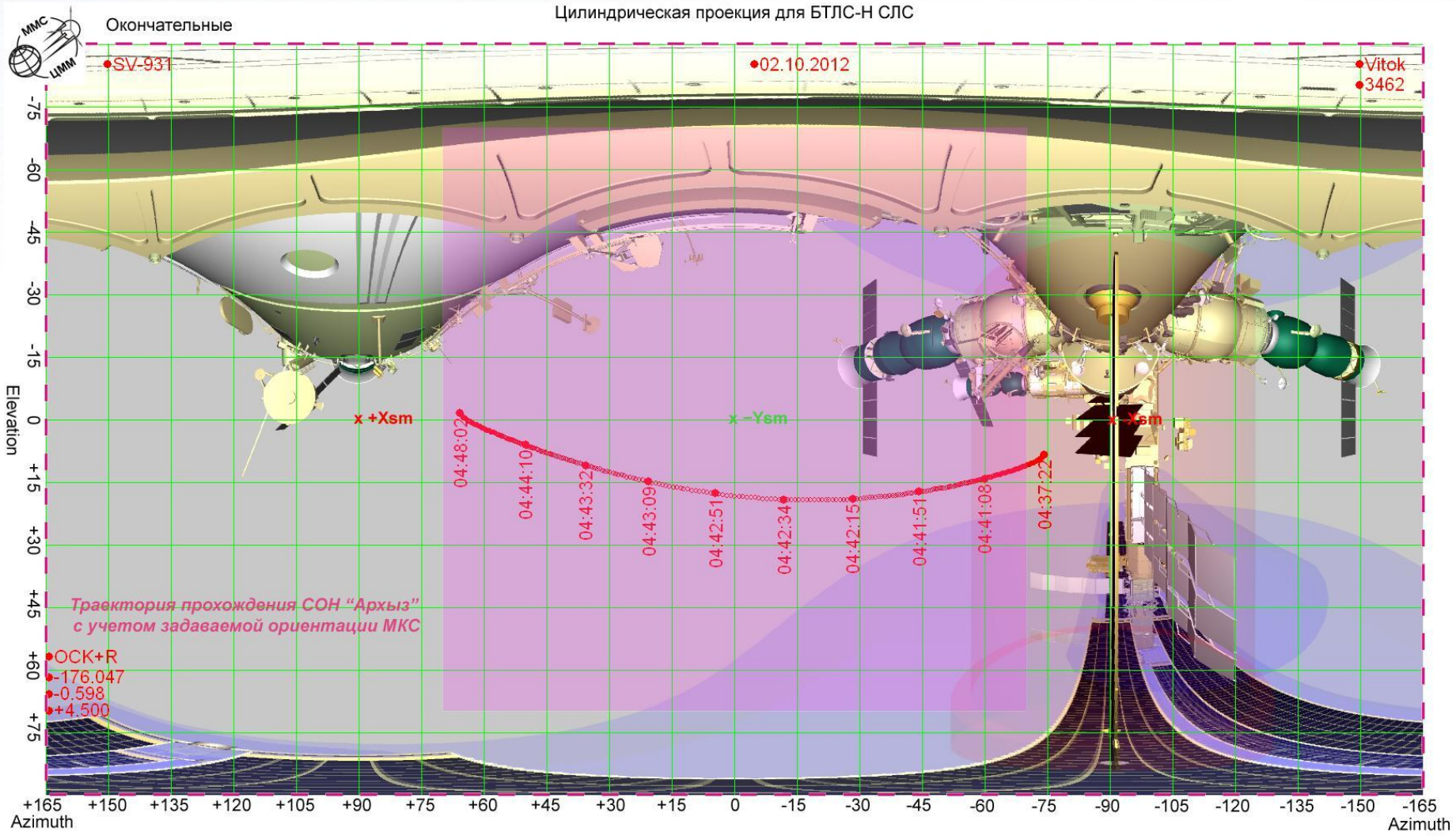
Схема перестыковки ТК «СОЮЗ ТМА-14»



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



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

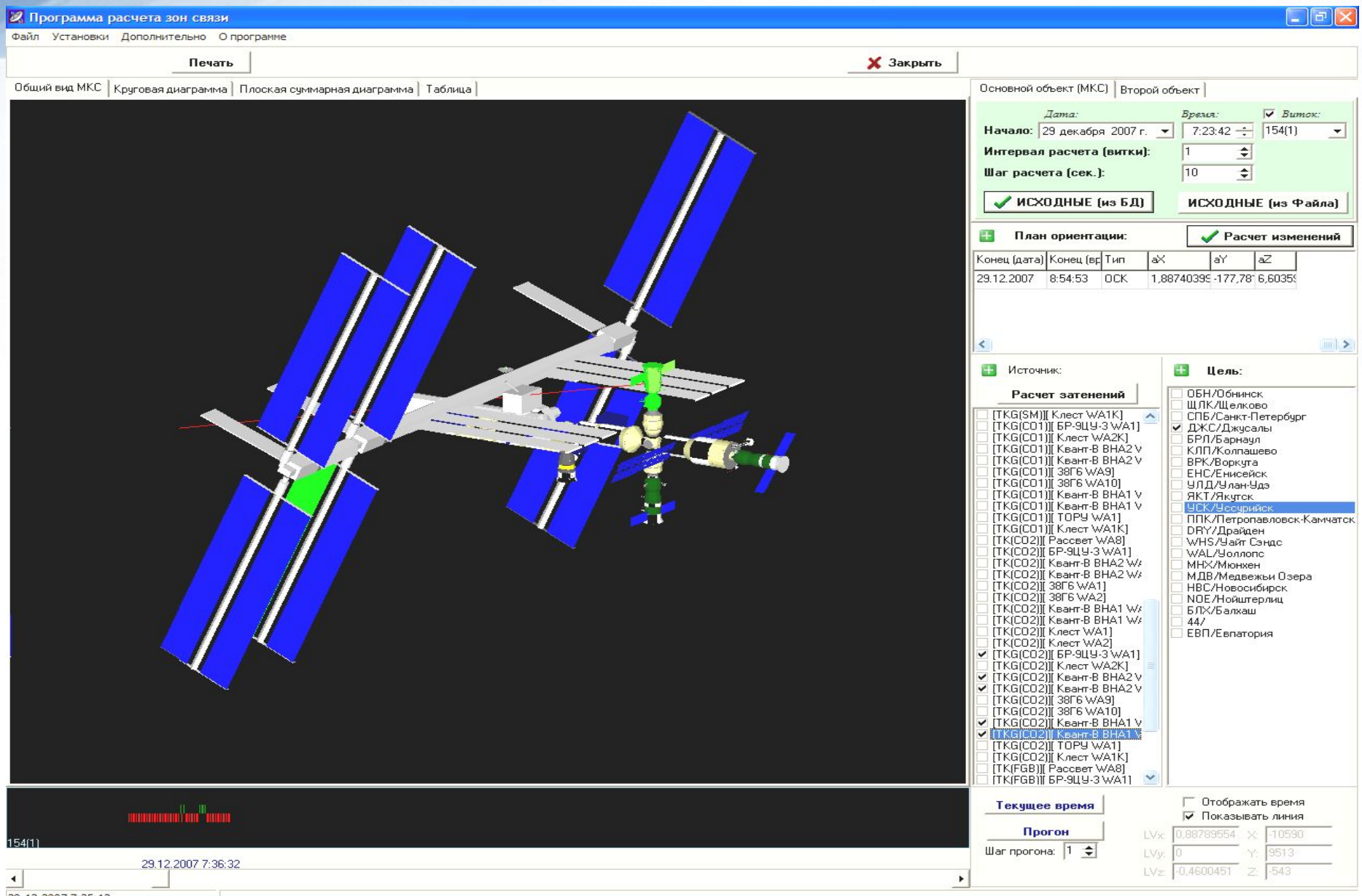


Визуальное моделирование полетных операций

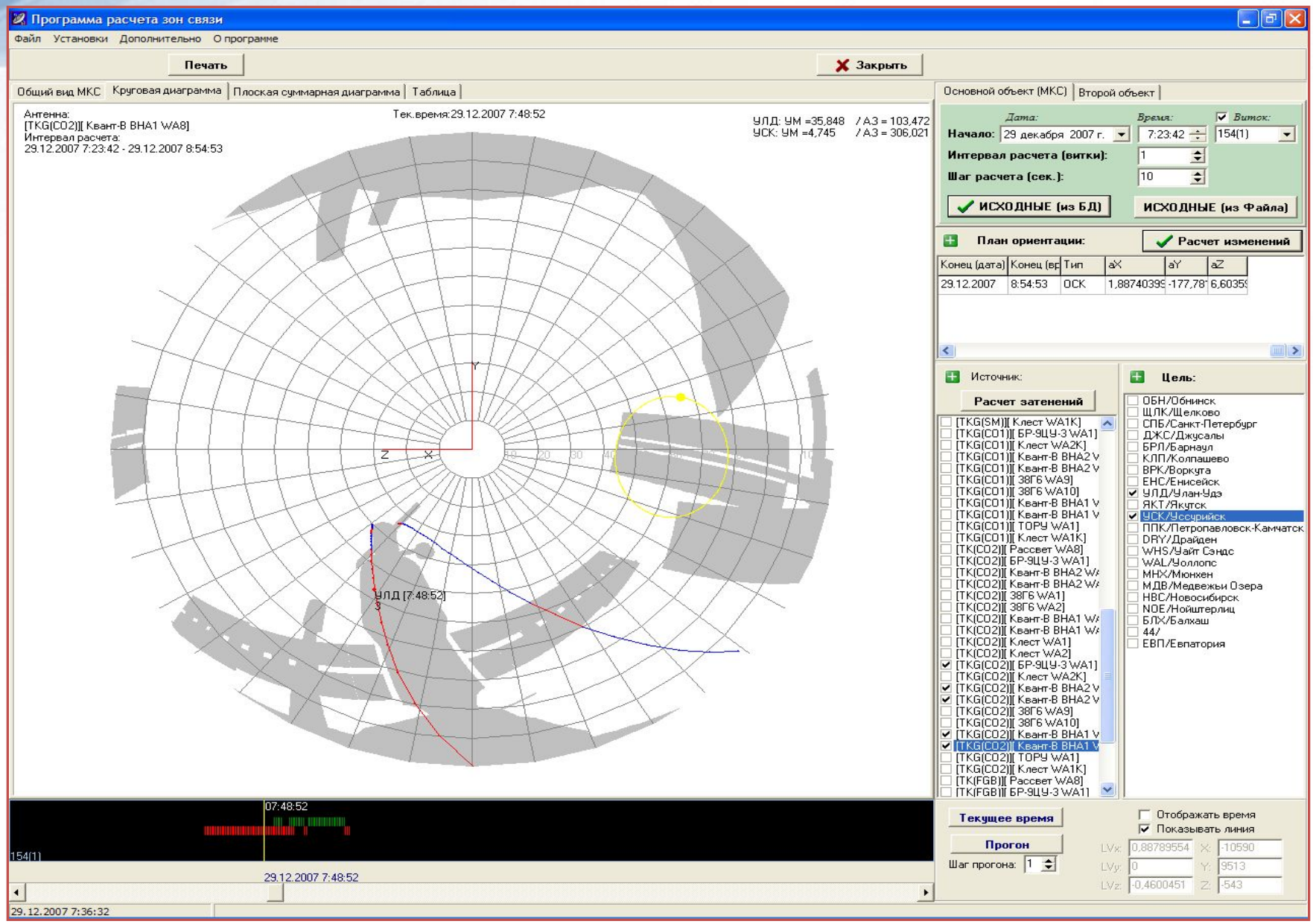
Визуальное моделирование

- **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 при проведении операции стыковки и расстыковки**
- **Визуальные схемы и рисунки для сложных динамических операций с целью повышения наглядности и информативности при проведении полетных операций**

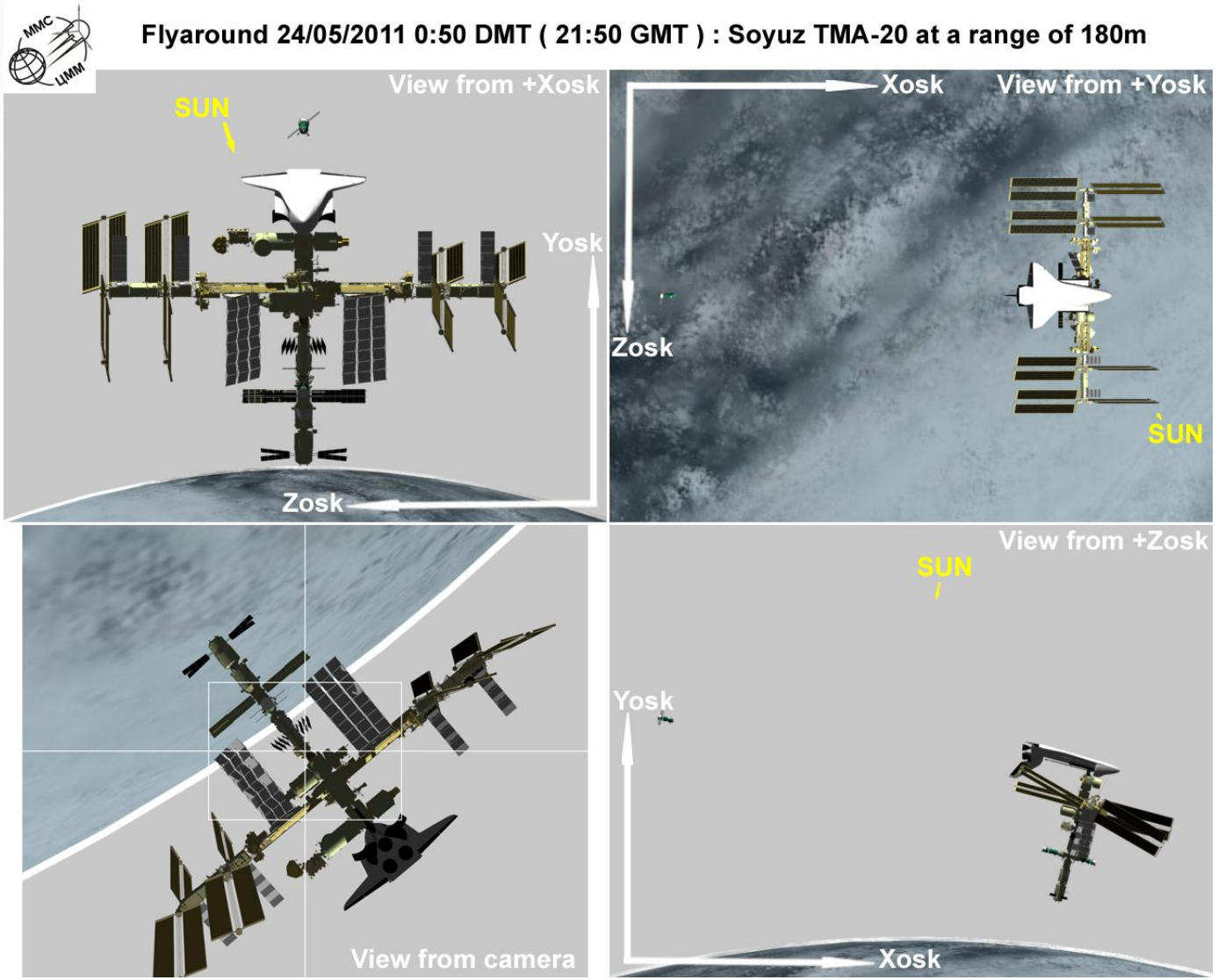
Моделирование затенений антенн РС МКС



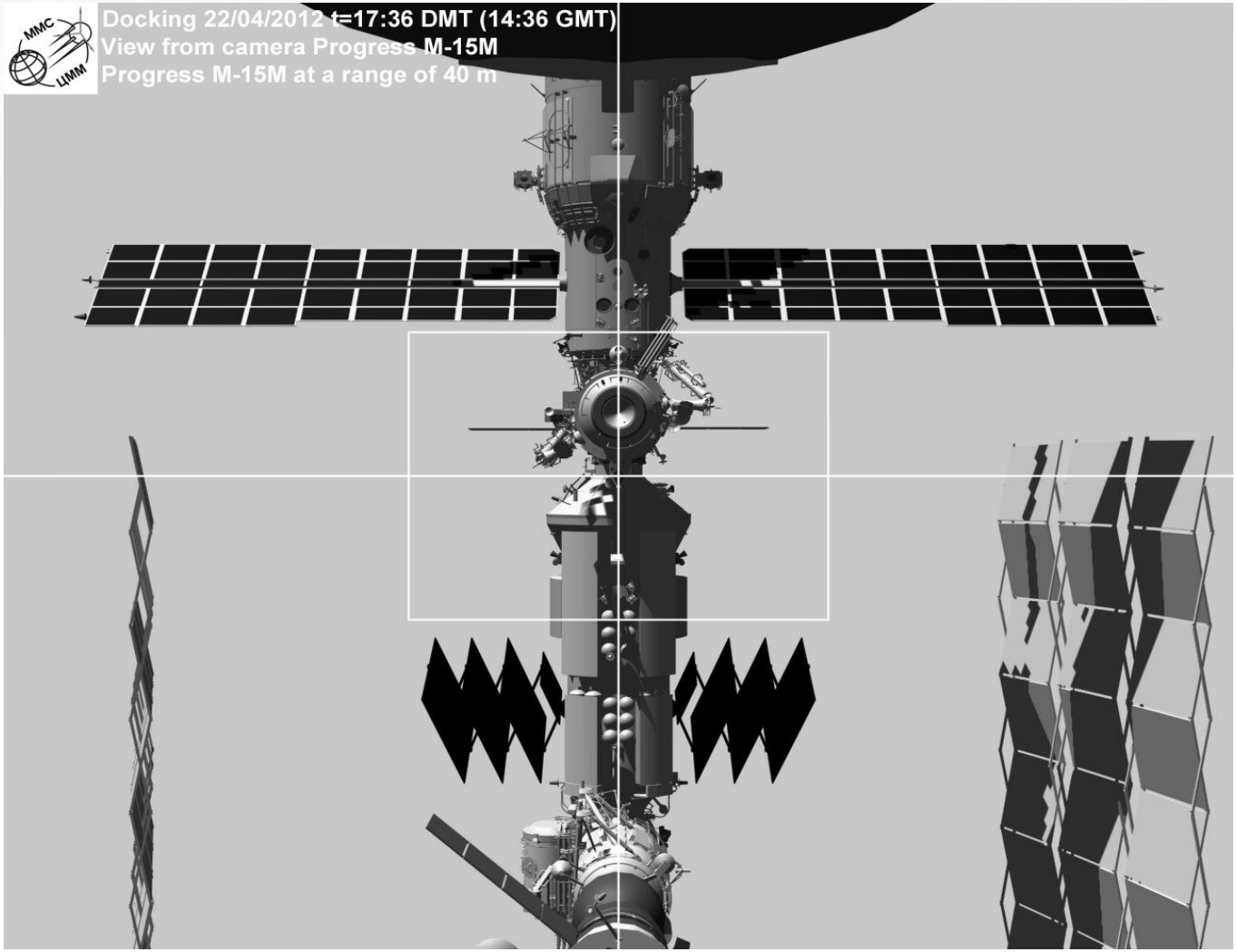
Расчет зон связи с помощью моделирования



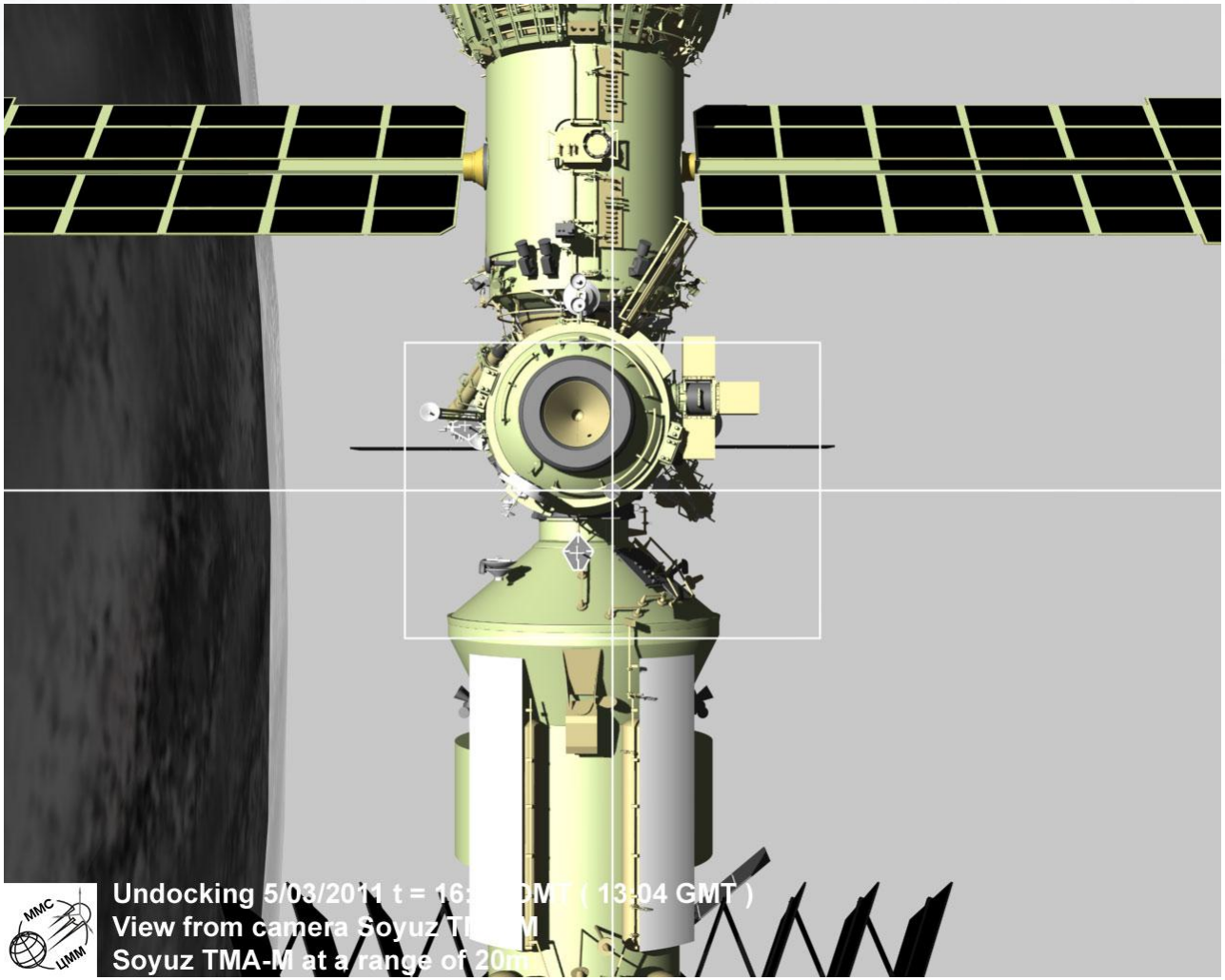
Отображение расстыковки ТК «СОЮЗ ТМА-20» от МКС в связке с ОК «Шаттл»



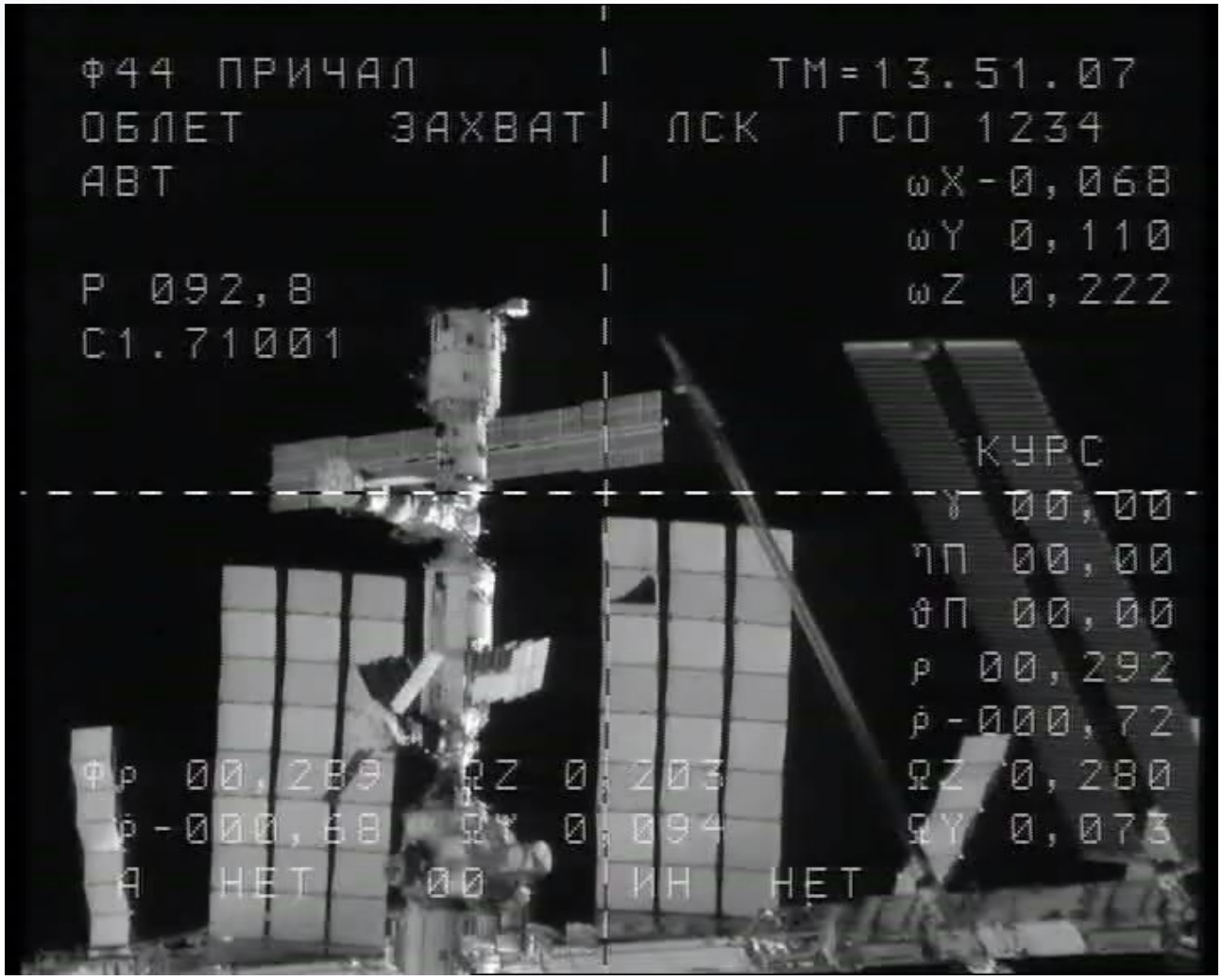
Вид стыковочной мишени при стыковке «ПРОГРЕССА М-15М» расстоянии 40 метров от МКС



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

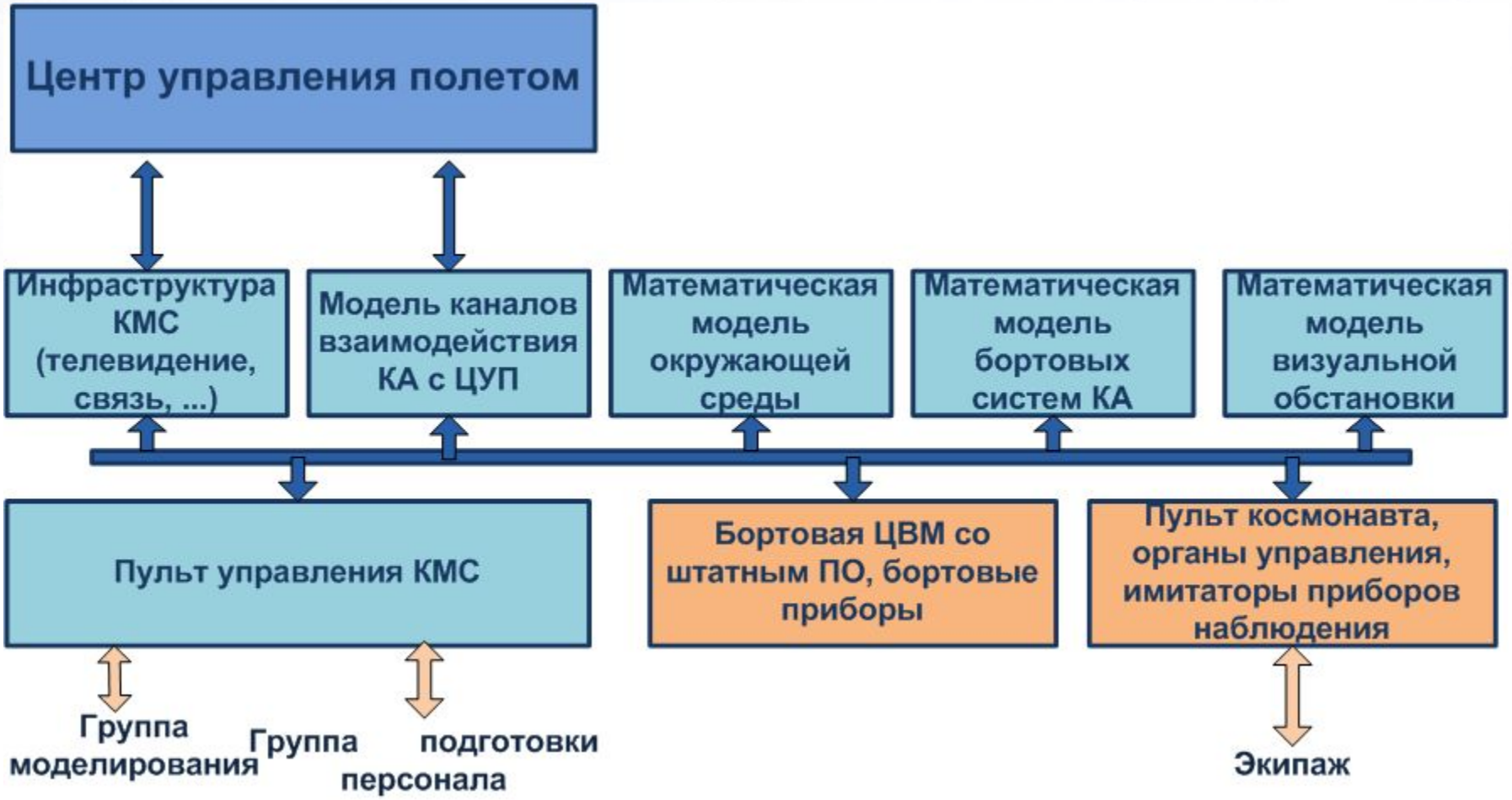
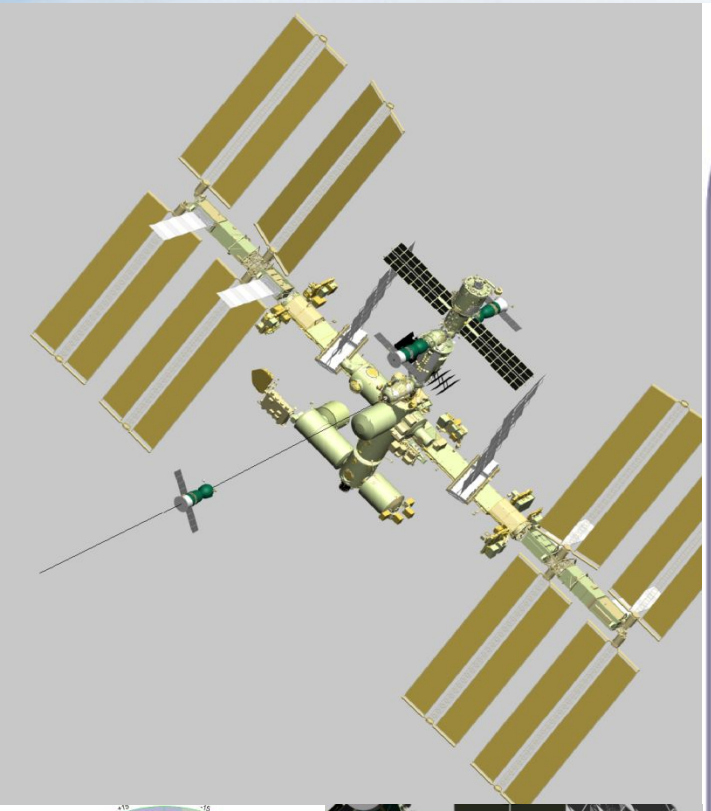
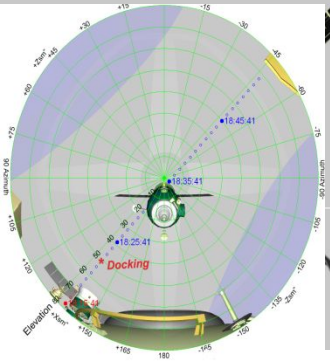
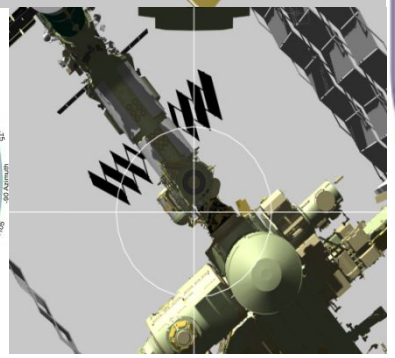
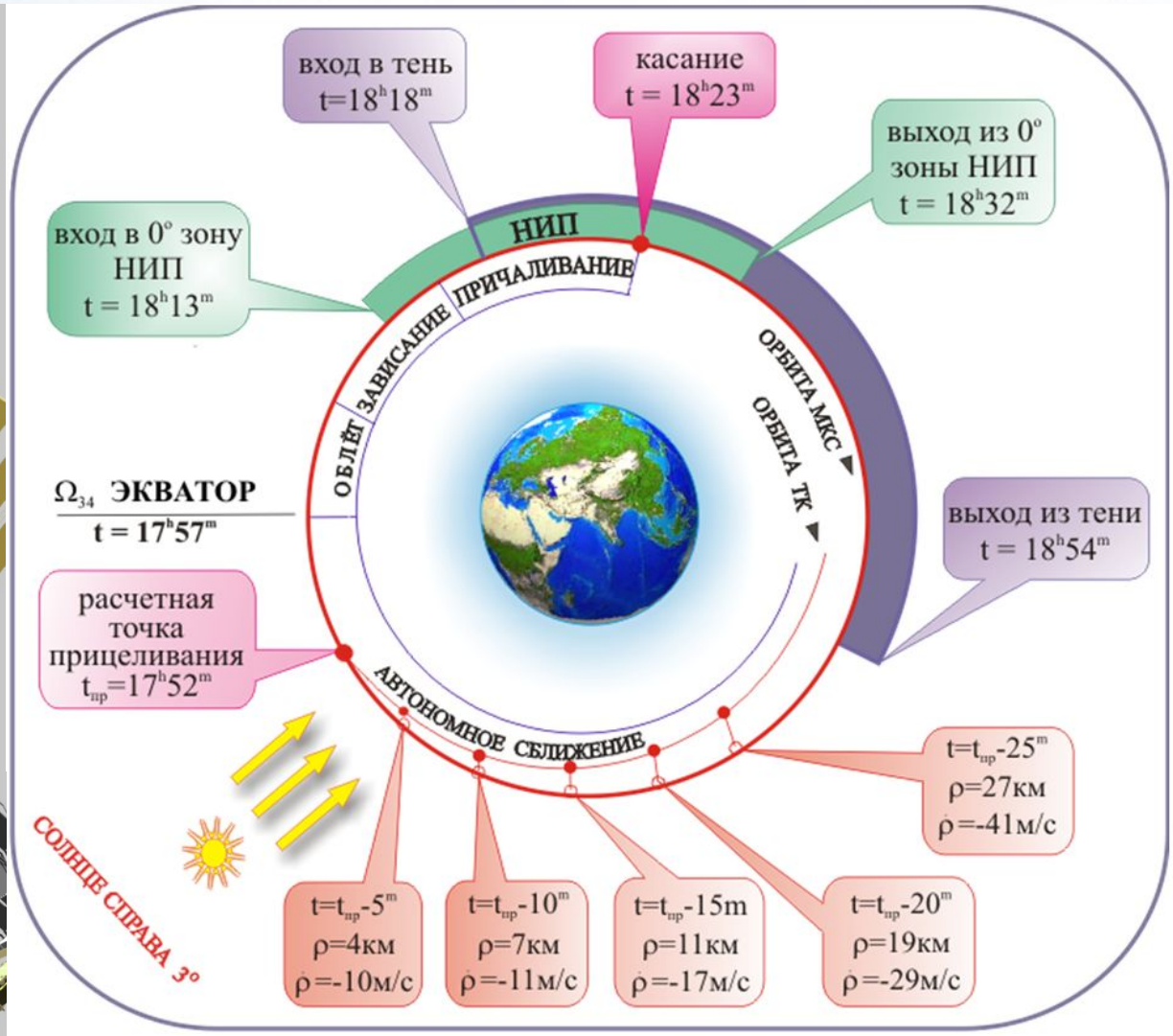


СХЕМА СБЛИЖЕНИЯ И СТЫКОВКИ ТПК «СОЮЗ» С МКС

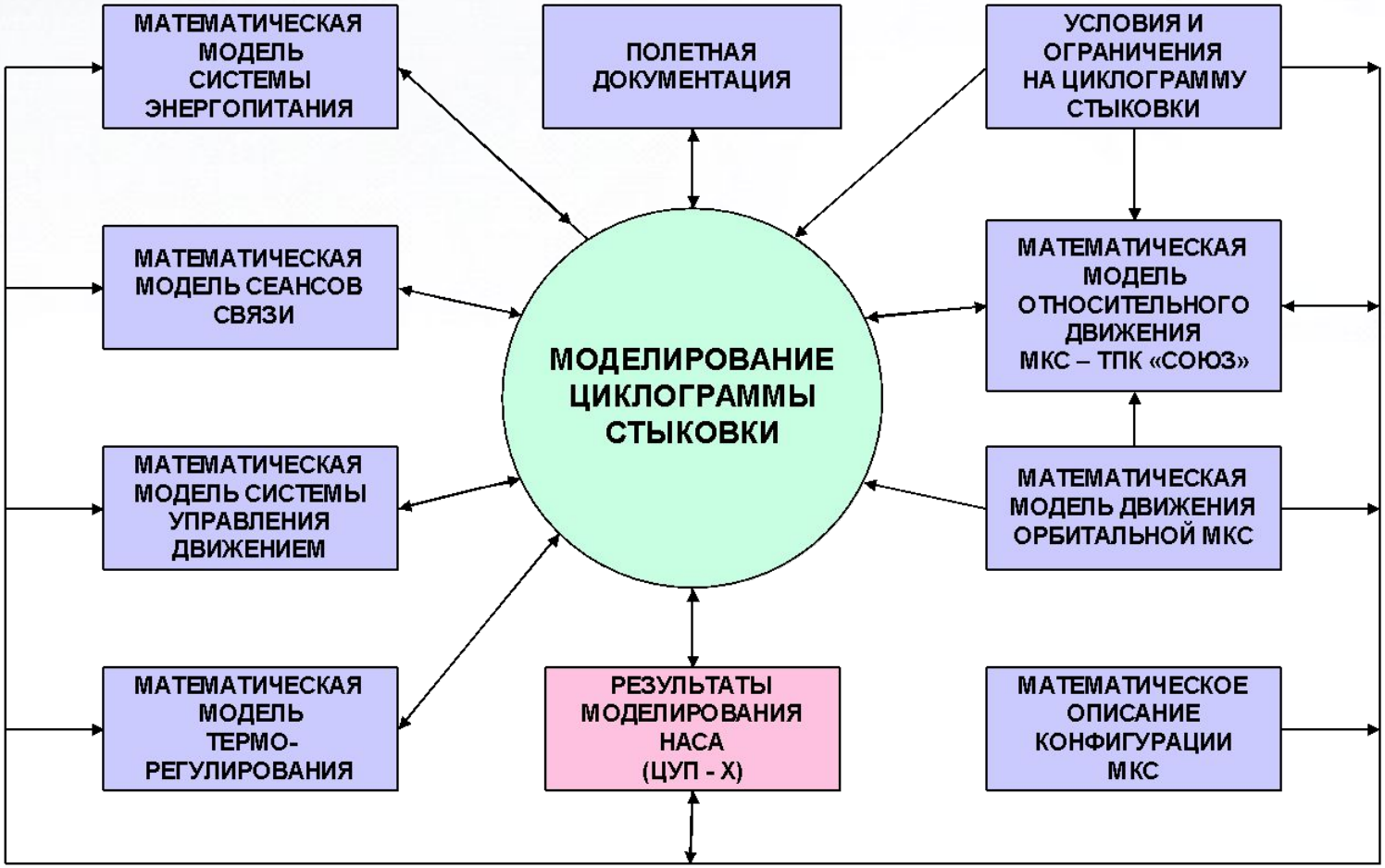




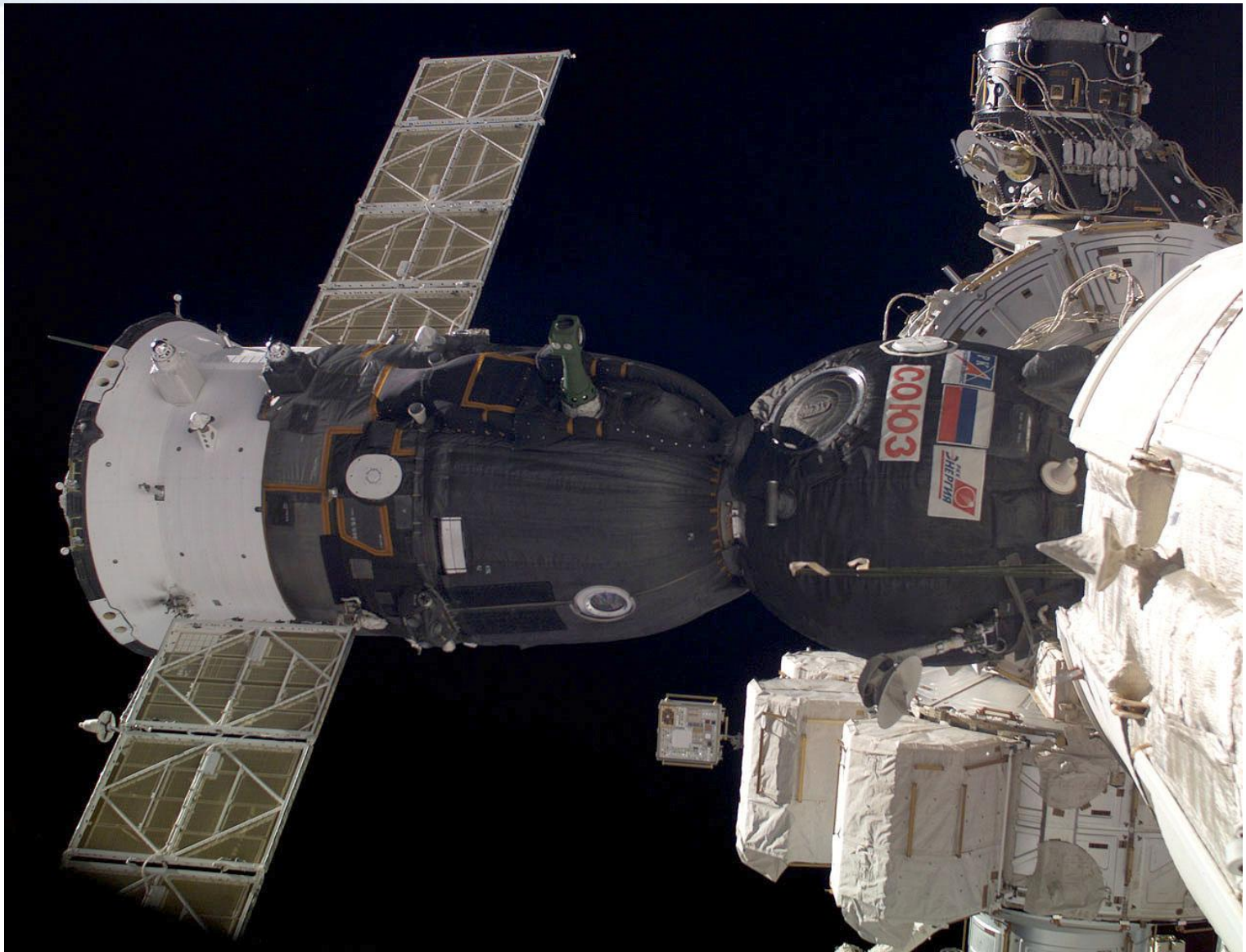




Моделирование процесса стыковки



ТПК «Союз» в составе РС МКС



Конец лекции