



«ЦУП из коробки» (Российский STK) – цифровая  
платформа для разработки  
аэрокосмических систем

[ivan.samylovskiy@cosmos.msu.ru](mailto:ivan.samylovskiy@cosmos.msu.ru)

<https://astro-dynamics.ru/>

07.08.2023 г.

# Предпосылки разработок



- Потребность в программных средствах управления многоспутниковыми группировками (быстрое построение оптимальных и суб-оптимальных стратегий управления)
- Необходимость разработки и внедрения отечественных программных решений («Российский STK») для проектных расчетов космических систем, а также их моделирования и управления ими
  - Должны работать под ОС специального назначения
  - Должны поддерживать функциональность работу как с группировкой в целом, так и с узлами отдельных аппаратов
  - Должны обладать разумной универсальностью (диапазон орбит, состав моделируемых средств, настройка «нагрузки» отображения, ближний-дальний космос)

# «STK от МГУ» – программный комплекс MIDE (интегрированная среда разработки миссий)



- Функциональное ядро – полностью отечественной разработки
- Основа – опыт коллектива ФКИ МГУ в разработке САПР для космоса:
  - Моделирование манёвров
  - Моделирование выработки электроэнергии, теплового потока, освещенности
  - Моделирование работы СЭС
  - Моделирование радиолинии «Земля-борт»
  - Моделирование работы системы стыковки
  - Планирование съемки ДЗЗ
  - Планирование и реализация сеансов связи в S,X-диапазонах
- Модульная, расширяемая, достраиваемая структура для разработки собственных приложений.
  - В настоящее время разрабатывается графическая оболочка на Unreal Engine
  - В настоящее время разрабатываются плагины Python
- Постоянно развивающаяся функциональность
- Кроссплатформенность: MS Windows, Astra Linux 1.5, Astra Linux 1.6 Common, Special Edition

# MIDE – архитектура – простой пример



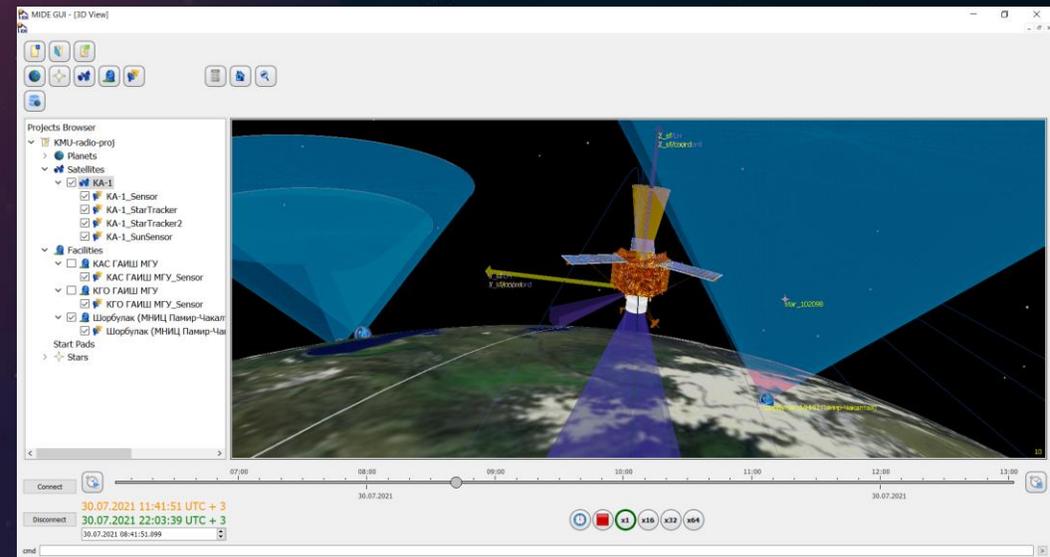
```

xml version="1.0"
<mideProject name="KMU-radio-proj" version="1.0" StartTime="Вт июл 30 11:38:20 2021 GMT" CurTime="Вт июл 30 08:48:46 2021 GMT" EndTime="Сб июл 31 11:38:20 2021 GMT">
<dataSources>
<dataSource key="DefaultEphemeris" type="DE430" path="..\PhysicalObjectsData\PlanetEphemeris\plneph.430" />
</dataSources>
<stars>
<info J2000_key="J2000" J2000_GlobalKey="Earth/J2000">
<starFile filePath="..\PhysicalObjectsData\StarCatalogues\stars.txt" Type="h" nms="11767,15863,25336,25428,26311,26727,28360,30324,31681,33579,34444,36850" />
</info>
</stars>
<planet>
<planet key="Earth" imagePath="..\images\map\earth_day.jpg" EphemerisData="DefaultEphemeris" mu="398600.44188" R="6371" isChecked="true">
<orientation key="Attitude">
<properties defType="or_quat" check="false" color="#ffff00" scale="1" t="1" x="0" y="0" z="0" />
<dependentOn DependencyType="base_CS" key="Earth/ECEF" type="cs" />
</orientation>
<report key="Earth/Attitude_report">
<properties separator="|" secStep="60" format="time_utc" defType="user_report" check="false" color="#ffff00" scale="1" />
<dependentOn DependencyType="Earth/Attitude" key="Earth/Attitude" type="orientation" />
</report>
</planet>
<cs key="ECEF">
<properties defType="cs_GCS" check="false" in_time="Вт июл 30 11:38:20 2021 GMT" translMat="0.171341,0.985212,-0.000366229,-0.98521,0.171341,0.00203568" />
<dependentOn DependencyType="base_CS" key="Earth/J2000" type="cs" />
<depending key="Earth/Attitude" type="orientation" />
<depending key="Earth/ECEF" type="vector" />
<depending key="Earth/ECEF" type="vector" />
<depending key="Earth/ECEF" type="vector" />
<depending key="KAC FANSI MIV/Attitude" type="orientation" />
<depending key="KAC FANSI MIV/BF/axis" type="vector" />
<depending key="KAC FANSI MIV/BodyFrame" type="cs" />
<depending key="KAC FANSI MIV/position" type="dot" />
<depending key="KAC FANSI MIV/velocity" type="vector" />
<depending key="KTO FANSI MIV/Attitude" type="orientation" />
<depending key="KTO FANSI MIV/BF/axis" type="vector" />
<depending key="KTO FANSI MIV/BodyFrame" type="cs" />
<depending key="KTO FANSI MIV/position" type="dot" />
<depending key="KTO FANSI MIV/velocity" type="vector" />
<depending key="ШопБулак (МНИЦ Палеон-Чкал) /Attitude" type="orientation" />
<depending key="ШопБулак (МНИЦ Палеон-Чкал) /BF/axis" type="vector" />

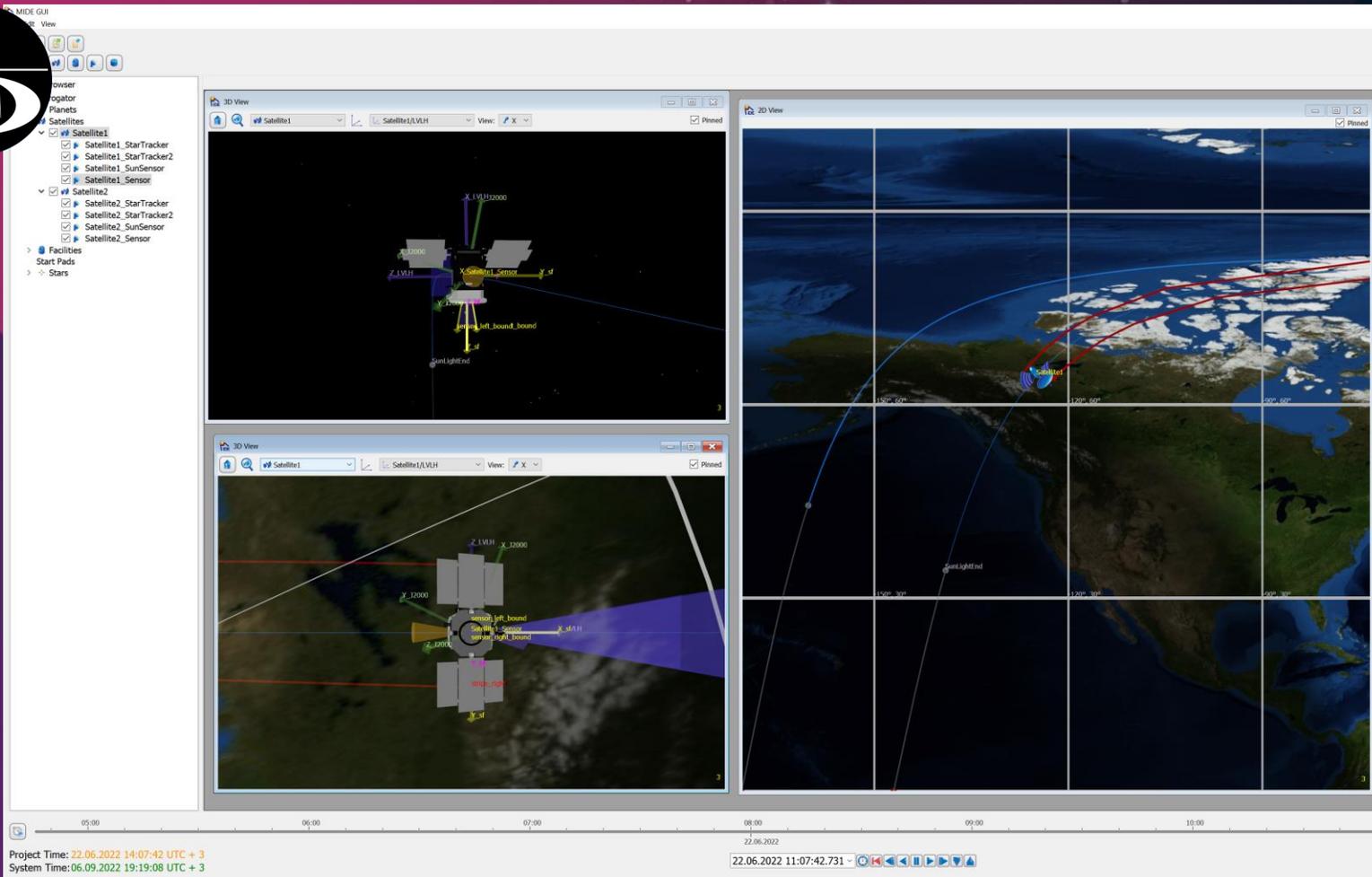
```

## Вот пример проекта

- В проекте – спутник с четырьмя сенсорами, три наземные станции, планеты, навигационные звезды
- Источники данных – TLE, эфемериды DE 430, каталог Hipparcos



## А вот результат его «запуска»



- Пример – модель КА ДЗЗ
- Настраиваемая орбита, маневры, системы координат, состав приборов
- Настраиваемые параметры покрытия

# Текущая функциональность «под ключ» (доступно в демо-версии на сайте)



## Моделирование КА:

### Движение ЦМ пассивное:

- SGP4 / SDP4, оскулирующие элементы
- уравнения движения, с учетом:
  - Геопотенциала (EGM96 + .grv-файлы)
  - Атмосферы
  - Светового давления
  - Неравномерности вращения Земли
  - Гравитации планет

- Движение ЦМ активное : цепочки импульсных маневров с выбором СК привязки, направления,  $\Delta V$
- Моделирование группировок (см. примеры)
- Моделирование приборов: оптика, радио
- Вращательное движение:
  - Стабилизированное относительно СК
  - Кинематические уравнения Эйлера

## Для ВСЕХ моделируемых объектов доступны:

- Пользовательское создание систем координат, точек, векторов, плоскостей, углов
- Треки точек и векторов
- Механизм построения отчетов

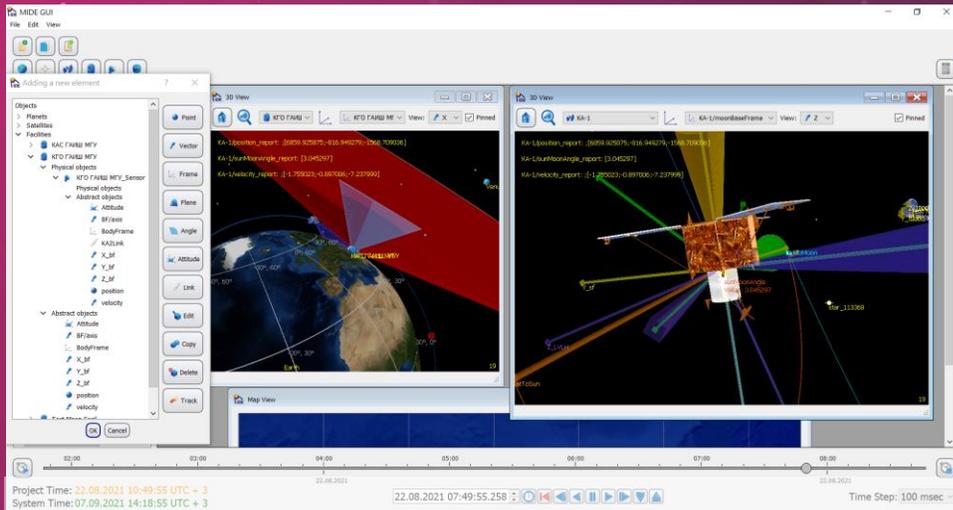
## Моделирование окружающего пространства:

- Звезды
  - Пользовательский ввод
  - Загрузка звездного каталога
- Планеты
  - Эфемериды DE (JPL)
  - Эфемериды VSOP
  - Аналитические модели

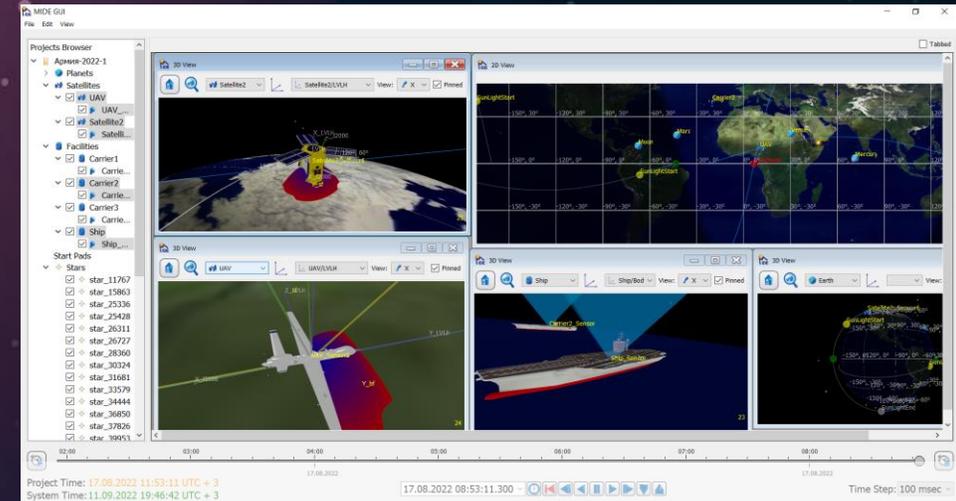
## Наземные станции:

- Аналогично КА: расположение относительно выбранной СК, оптические / радио устройства
- Зоны видимости

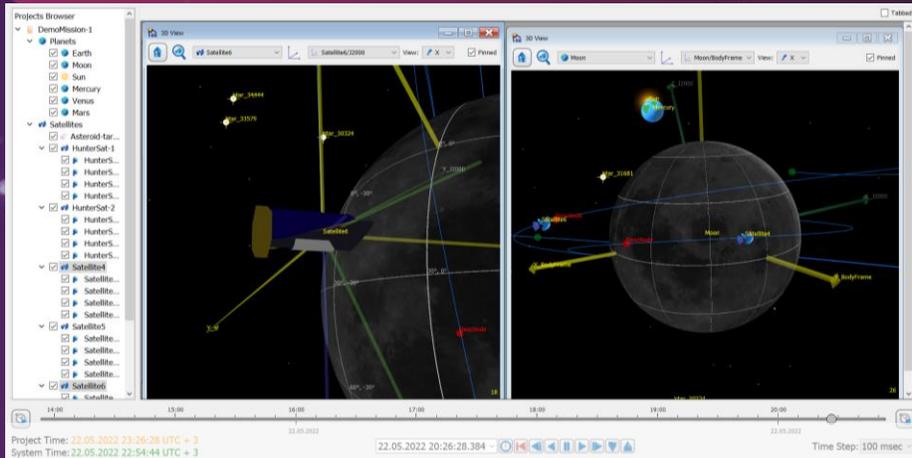
# MIDE – примеры использования



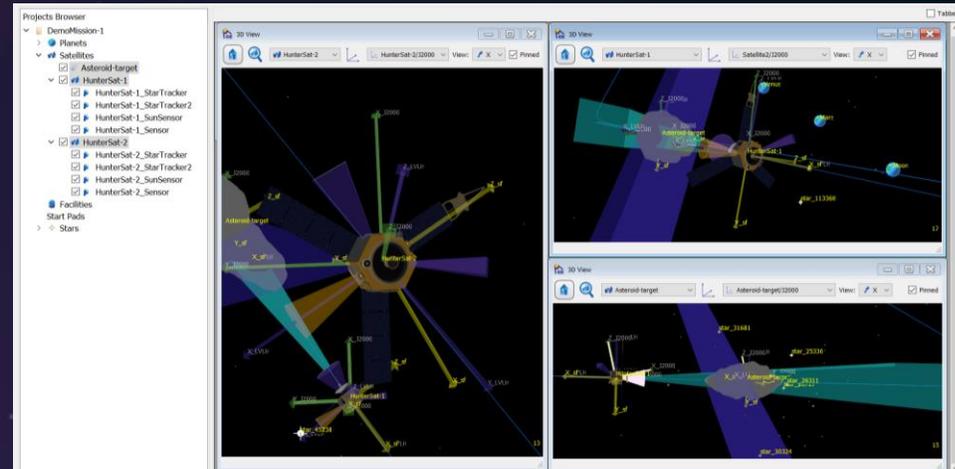
Спутник и наземные станции



Спутник, БПЛА, корабли



Земля-Луна



Дальний космос



MIDE v. 1.0.1

Файл Редактировать Окна Настройки

Браузер проектов

- testProject
  - Планеты
  - Космические аппараты
    - Satellite1
      - Satellite1\_Sensor4
      - NOAA 15
      - DMSP 5D-3 F15 (USA 147)
      - DMSP 5D-3 F16 (USA 172)
      - NOAA 18
      - METEOSAT-9 (MSG-2)
      - EWS-G1 (GOES 13)
      - DMSP 5D-3 F17 (USA 191)
      - FENGYUN 3A
      - FENGYUN 2E
      - NOAA 19
      - GOES 14
      - METEOR-M 1
      - DMSP 5D-3 F18 (USA 210)
      - GOES 15
      - COMS 1
      - FENGYUN 3B
      - SUOMI NPP
      - FENGYUN 2F
      - METEOSAT-10 (MSG-3)
      - METOP-B
      - FENGYUN 3C

3D окно

Earth Камера: X Прикрепить

05:00 06:00 07:00 08:00 09:00 10:00 11:00

11.04.2023

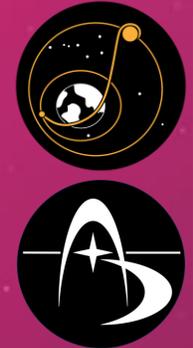
11.04.2023 09:26:48.146

Шаг времени: 100 мсек

Время проекта: 11.04.2023 12:26:48 UTC + 3  
Системное время: 27.06.2023 17:49:56 UTC + 3

цыплят... mide : b... sprimgl... bin : MI... Систем... MIDE : b... mapwid... mide-b... bin : MI... MIDE v. ... Ассисте... EN 17:49

# Моделирование группировок - СВЯЗЬ



Project Time: 27.06.2022 19:22:44 UTC + 3  
System Time: 27.06.2022 19:12:46 UTC + 3

27.06.2022 16:22:44.322

Time Step: 100 msec

Группировка связи (OneWeb) + «модельный» спутник

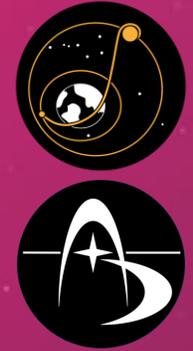
# Моделирование группировок - ДЗЗ



The screenshot displays the MIDE GUI software interface. On the left, a 'Projects Browser' lists various satellite constellations, including TERRA, MAROC-TUBSAT, AQUA, IRS-P6, SHIYAN 1, AURA, IRS-P5, SINAH 1, EROS B, RESURS-DK 1 (with sub-items RESURS-DK 1 and RESURS-DK 1\_Sensor1), ARIRANG-2, LAPAN-TUBSAT, CARTOSAT-2, HAIYANG-1B, COSMO-SKYMED, TERRASAR-X, WORLDVIEW-1, YAOGAN 3, COSMO-SKYMED, RADARSAT-2, CARTOSAT-2A, HUANJING 1A, HUANJING 1B, GEOEYE 1, THEOS, COSMO-SKYMED, and YAOGAN 4. The main window is split into two panels: the left panel shows a 3D globe with a dense network of blue lines representing satellite orbits and positions, with a 'star\_25428' label; the right panel shows a 3D model of a satellite (RESURS-DK 1\_Sensor1) in orbit, with labels for 'X\_551H', 'Z\_32000', and 'Y\_32000'. A timeline at the bottom indicates the project time as 11.09.2022 20:11:47 UTC + 3 and the system time as 11.09.2022 20:01:49 UTC + 3. The current time step is 11.09.2022 17:11:47.376, and the time step is set to 100 msec.

Группировка ДЗЗ (это все 180 аппаратов из файла resource с сайта celestrak)

# Моделирование группировок - навигация



MIDE GUI

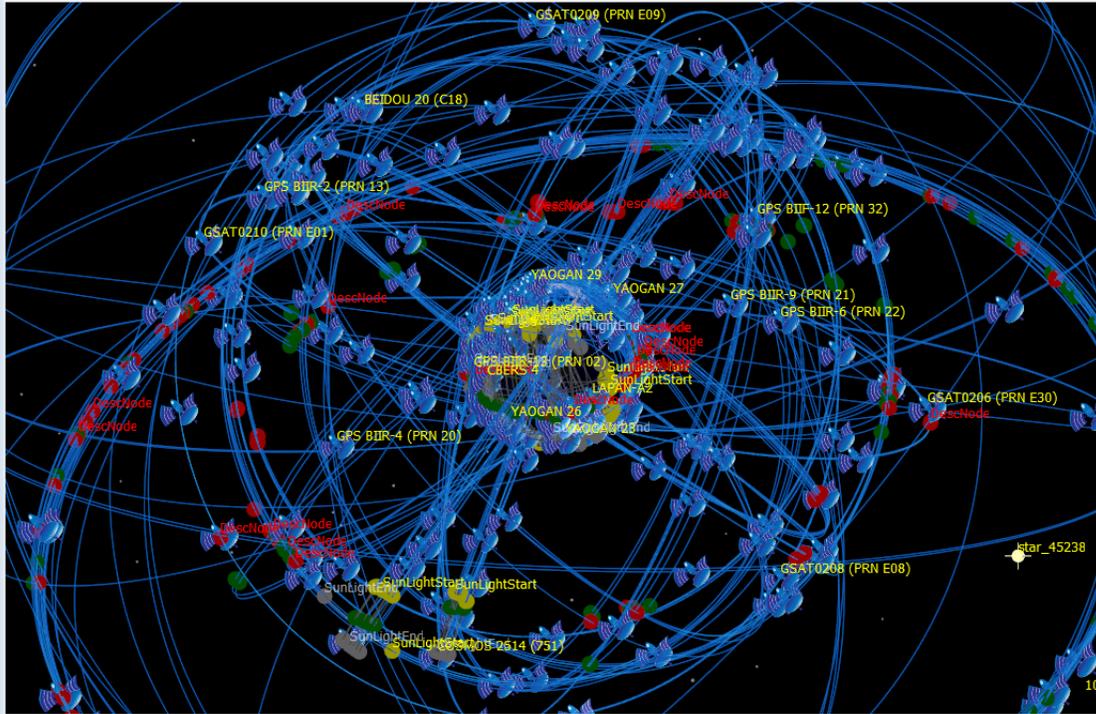
File Edit View

Projects Browser

- SKYS...
- WOR...
- GAO...
- YAO...
- YAO...
- ASN...
- HOD...
- QSA...
- YAO...
- YAO...
- CBE...
- RES...
- YAO...
- SMAP
- KOM...
- SEN...
- GAO...
- CAR...
- YAO...
- GAO...
- LAPA...
- YAO...
- YAO...
- KEN...
- TELE...
- GAO...
- JASO...
- SEN...
- ZIYU...
- NUS...
- NUS...
- CAR

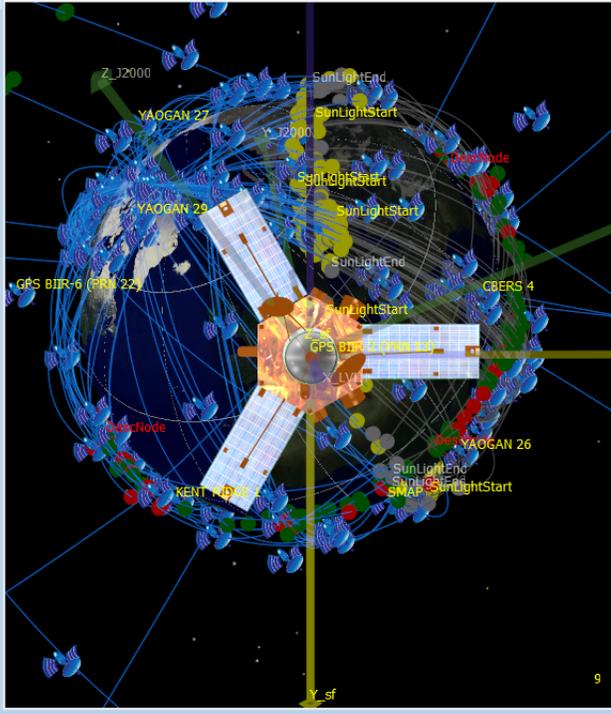
3D View

Earth View: X



3D View

GPS BIR-2 (PRN 13) View: X



12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00

11.09.2022

Project Time: 11.09.2022 21:45:21 UTC + 3

System Time: 11.09.2022 20:35:23 UTC + 3

11.09.2022 18:45:21.554

Time Step: 100 msec

Группировка ДЗЗ + группировка навигации (добавили все 156 аппаратов из файла gnss с сайта celestrak)



## Модернизация



### Моделирование КА:

Активные участки траектории + двигатель малой тяги  
Моделирование «связок» объектов (КА + разгонный блок, выведение полезной нагрузки, орбитальная станция)

- Генерация измерений приборов в соответствии с моделью ошибок
- Вращательное движение:
  - Динамические уравнения Эйлера с учетом возмущающих моментов
- Моделирование среды:
  - Тайловая структура виртуального глобуса, включая тайлы рельефа
  - Векторные данные на глобусе, включая дороги, каналы связи и т.д.

2023-2025 гг.

## Мультиагентные технологии

- Планировщик расписаний для оптической аппаратуры группировки ДЗЗ:
  - На входе – набор КА с приборами, набор объектов (наземных, космических) съемки, набор наземных станций + ограничения по памяти, энергетике, кинематике, динамике;
  - На выходе – суб-оптимальное расписание работы камер КА, наземных станций для обеспечения съемки и сброса.
- Планировщик расписаний для радарной съемки.

- Оптимизационные расчеты: окна запуска, расчет цепочек коррекций
- Моделирование миссий в дальний космос (по данным Спектр РГ, ЭкзоМарс)
- Моделирование космического мусора техногенного и естественного происхождения

## Масштабирование

## Формирование системы сервисов

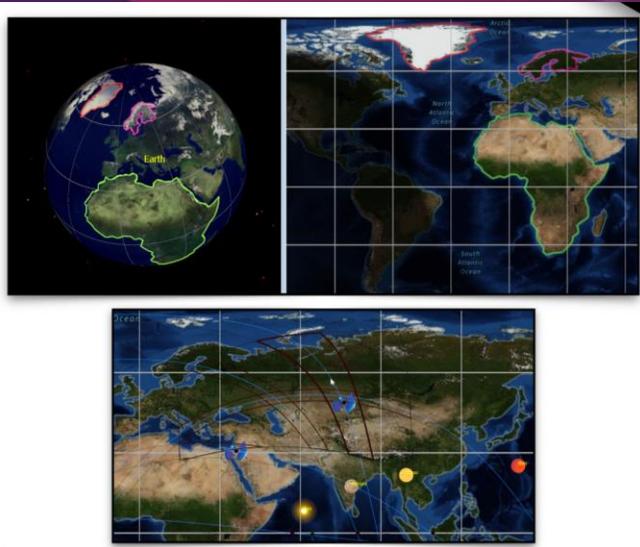
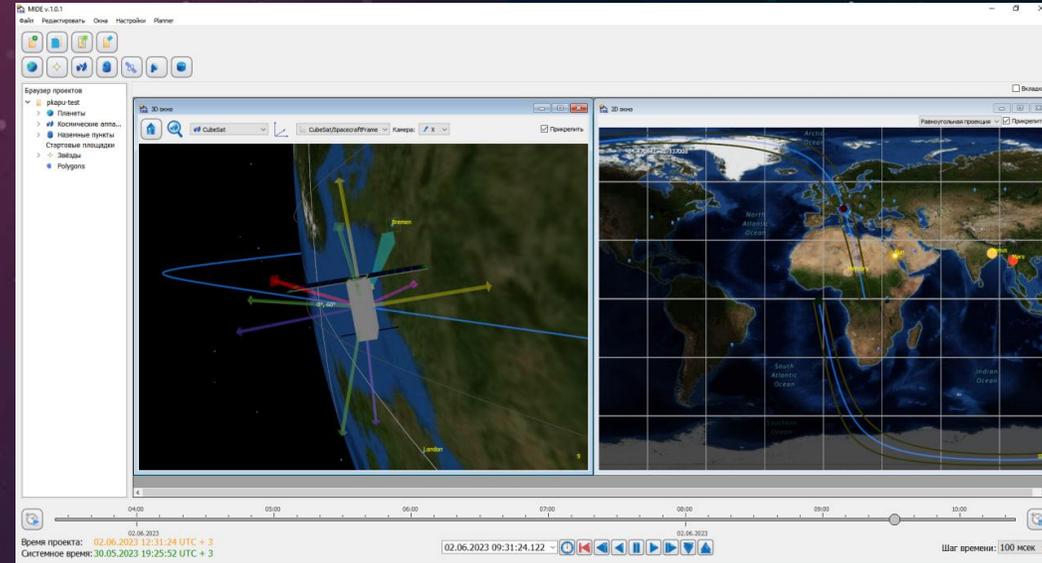
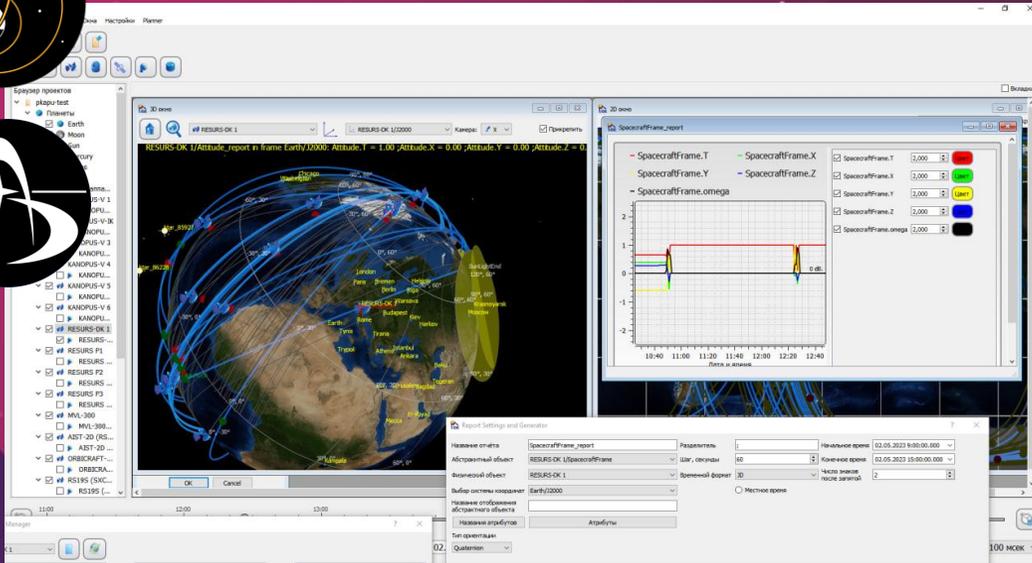
Система плагинов для настройки функциональности под конкретного заказчика

Веб-сервис для отображения ситуации в ОКП в браузере

Демо-версия планировщика доступна на нашем сайте :

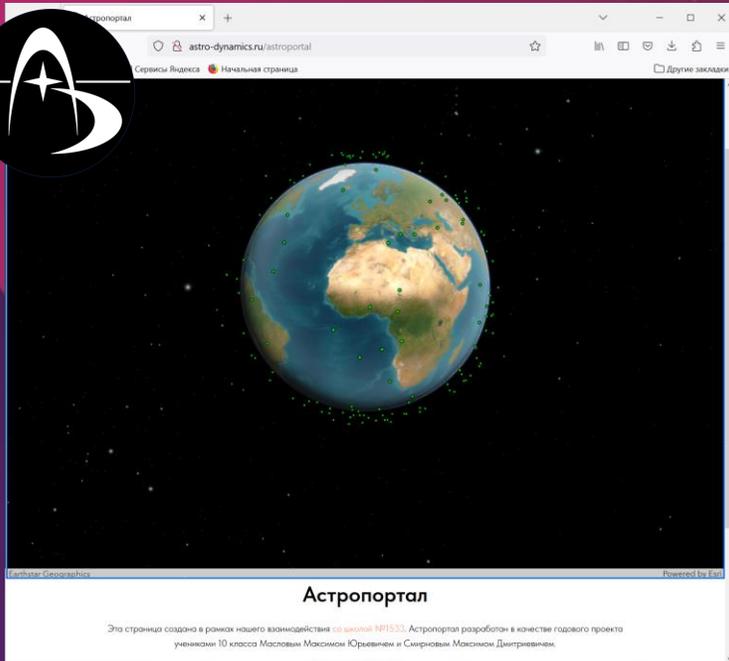
<http://astro-dynamics.ru/astroportal>

# Что из обещанного мы уже сделали за 2023г.?

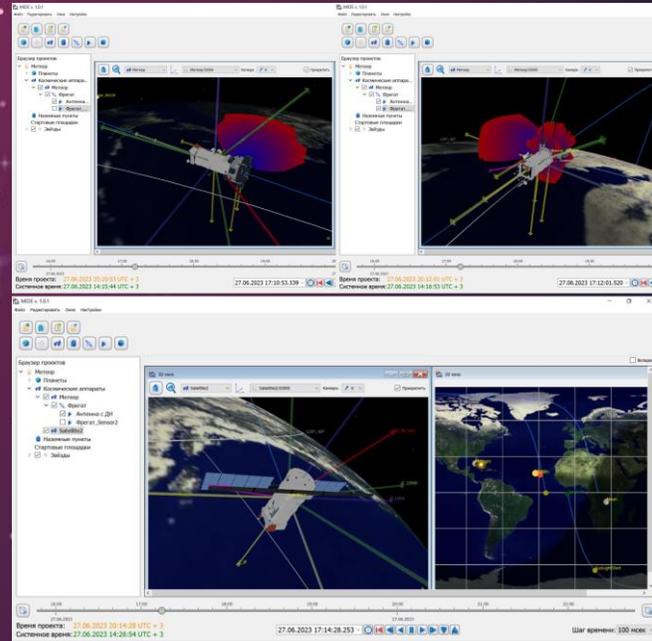


- Планирование работы многоспутниковой группировки ДЗЗ – аналог STK Scheduler, позволяющий распределять задачи между КА с настраиваемыми параметрами целевой аппаратуры и антенн
- Для поддержки задач ДЗЗ – векторные данные (полигоны на поверхности планеты, границы и т.д.)
- Будем демонстрировать на конференциях, все обновления – смотрите в нашем блоге <http://astro-dynamics.ru/blog>

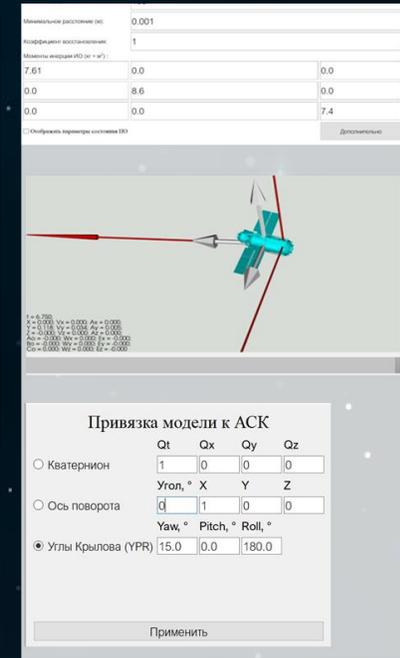
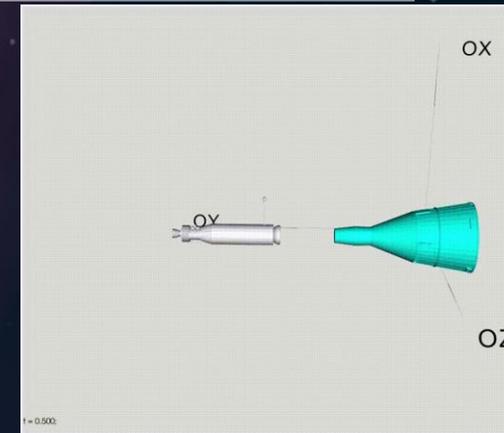
# Чем мы заняты сейчас?



- Работаем над веб-сервисом, который будет отображать результаты наших расчетов
- Воспитываем молодое поколение сотрудников в рамках нашей деятельности с Всероссийским космическим классом



- Работаем над сквозным моделированием миссии (вот пример работы «связки» из РБ и КА для выведения «Метеора»



- Реализуем полноценную динамику вращательного движения спутника

- Тренируемся делать «длинные» расчеты (на двухлетнем интервале мы сломали [GMAT](#) от NASA, а наша программа этот расчет выдержала!)



**Спасибо за внимание!**

Обновления, контакты, демонстрационные материалы  
доступны на нашем сайте <https://astro-dynamics.ru/>

