

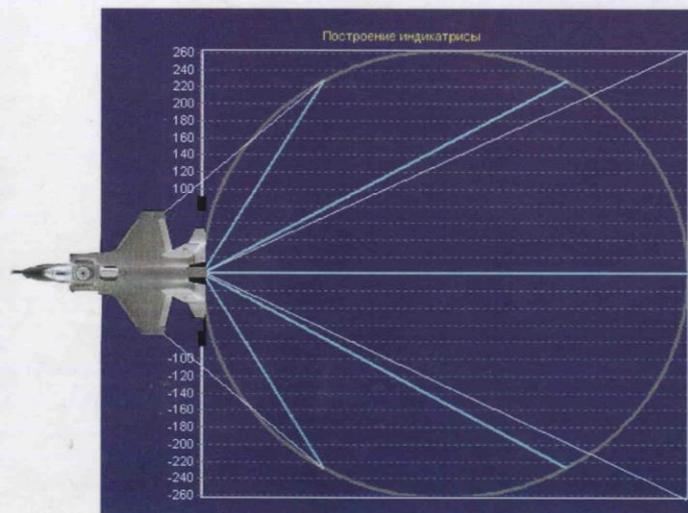
Анализ возможностей БЛА выполнения полетных заданий

Макаров В.В., Полтавский А.В.

Распределение потребительского спроса на гражданские БЛА в период с 2015 по 2020 гг. выглядит следующим образом:

- 45 % – правительственные структуры,
- 25 % – пожарные,
- 13 % – сельское хозяйство и лесничество,
- 10 % – энергетика,
- 6 % – обзор земной поверхности,
- 1 % – связь и вещание

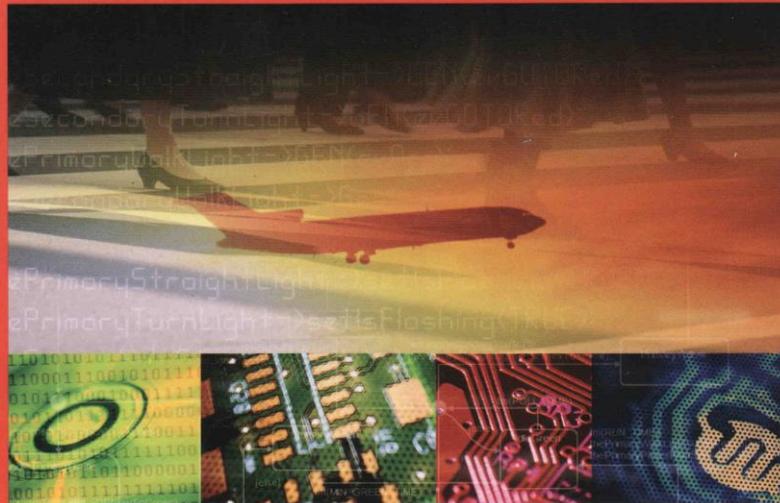
**А.В. Полтавский, А.А. Бурба, А.Е. Аверкин,
В.В. Макаров, В.В. Маклаков**



**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ**



EMBEDDED TECHNOLOGY™ SERIES



Real-Time UML Workshop for Embedded Systems



CD-ROM
INCLUDED
CONTAINING

Demo version
of the
Rhapsody
UML tool

Models of the
solutions

Bruce Powel Douglass



Newnes

Проблемы управления автономными
робототехническими комплексами,
12 февраля 2018 г., ИПУ РАН



Проблемы управления автономными
робототехническими комплексами,
12 февраля 2018 г., ИПУ РАН



ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР
АО «КОНЦЕРН «ВЕГА»

КОМПЛЕКСЫ С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

НАУЧНАЯ СЕРИЯ «ТРУДЫ НАУЧНЫХ ШКОЛ АО «КОНЦЕРН «ВЕГА»
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ ЧЛ.-КОРР. РАН, Д.Т.Н., ПРОФ. В.С. ВЕРБЫ



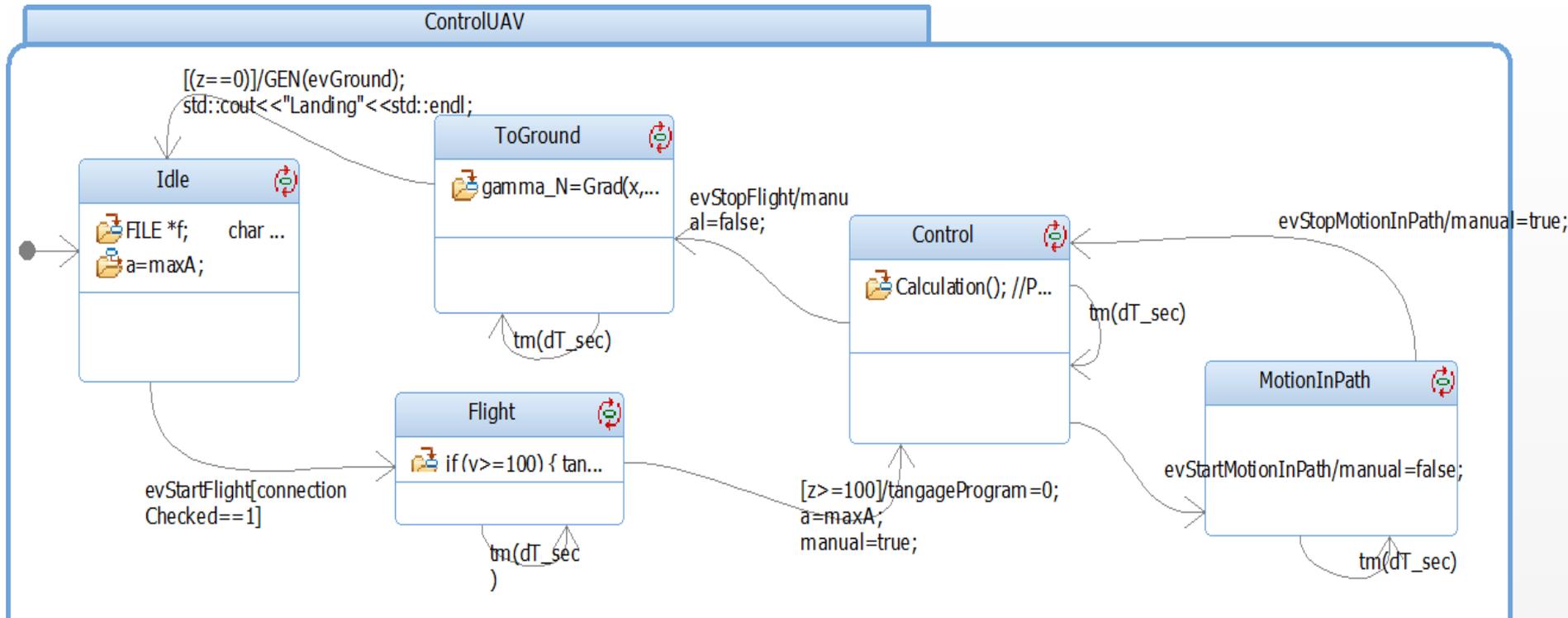
КНИГА 2

Проблемы управления автономными
робототехническими комплексами,
12 февраля 2018 г., ИПУ РАН

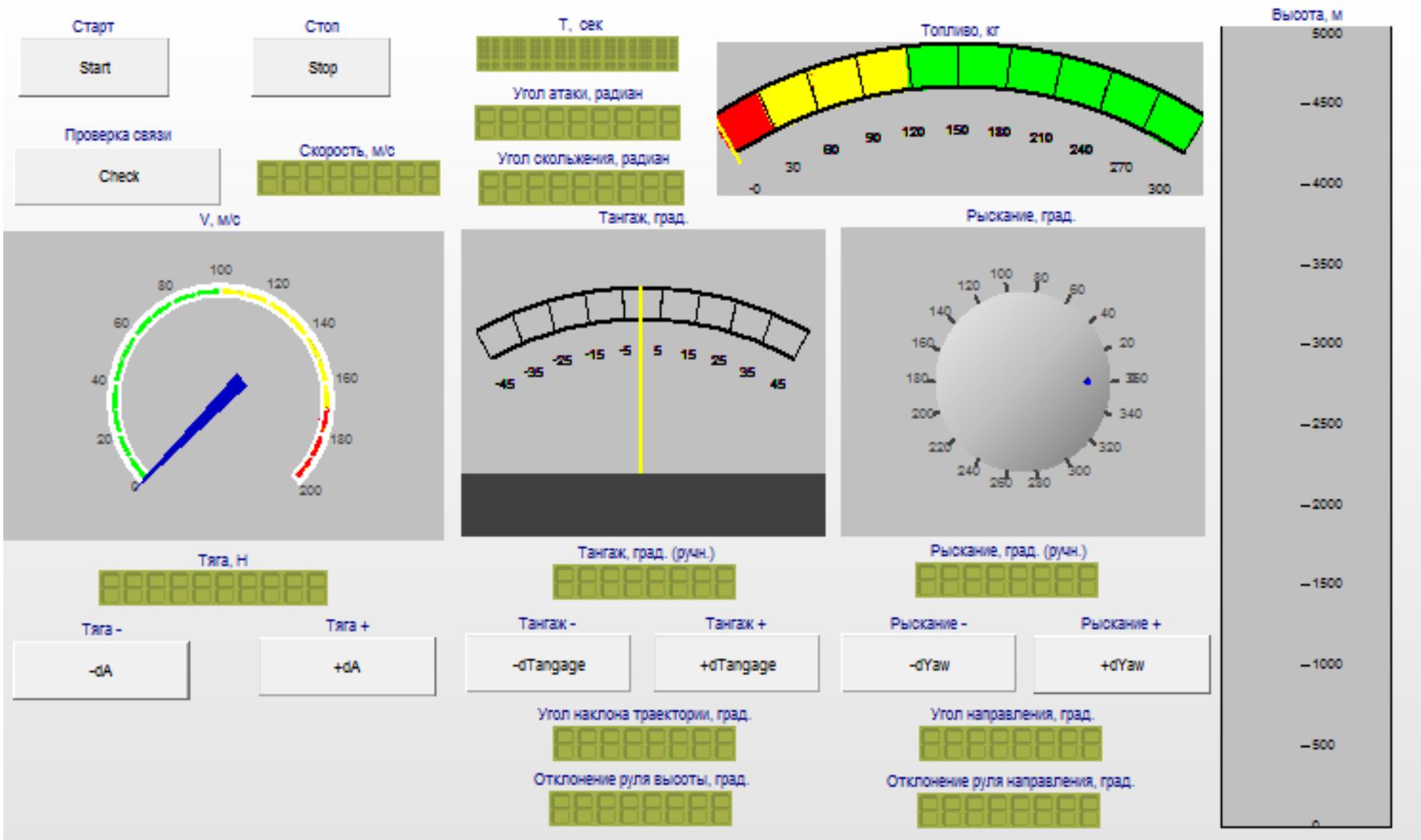
Национальные CASE-средства разработки в авиа-космической отрасли

- Язык ДРАКОН. Российское космическое агентство (научно-производственный центр автоматики и приборостроения, г. Москва) и Российская академия наук (Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша, г. Москва) - «Буран».
- «ГРАФИТ-ФЛОКС». Успешно используется в ряде крупных космических проектов: «Морской старт», «Фрегат», «Протон-М» и др.

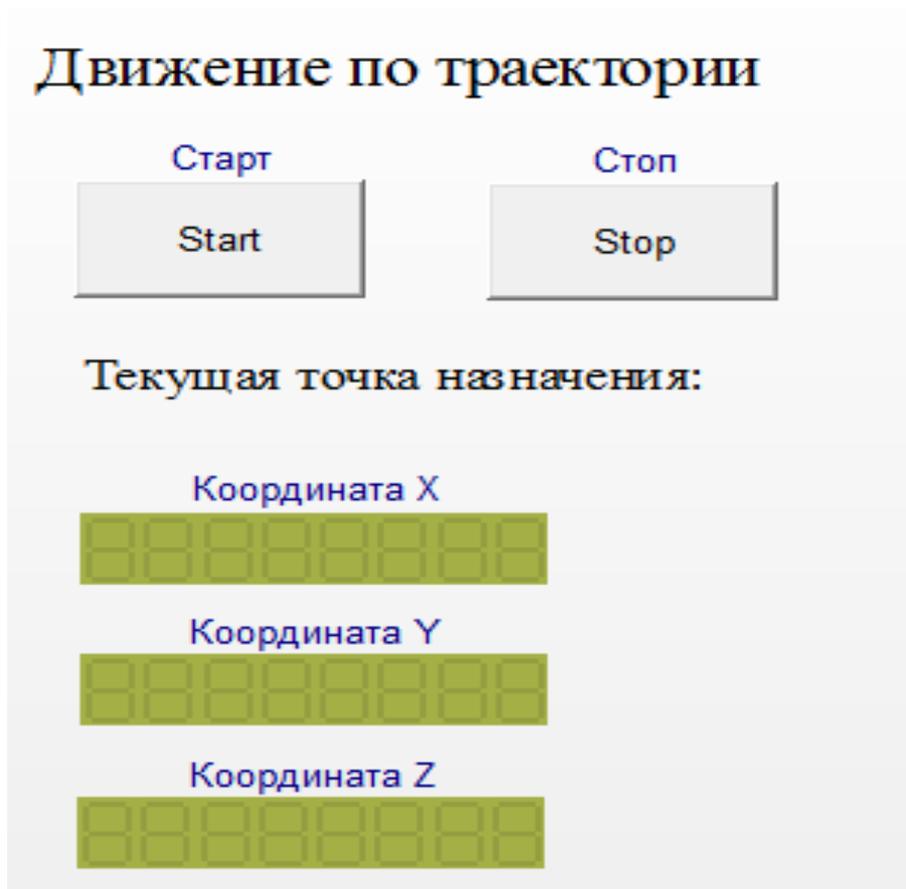
UML-диаграмма состояний БЛА



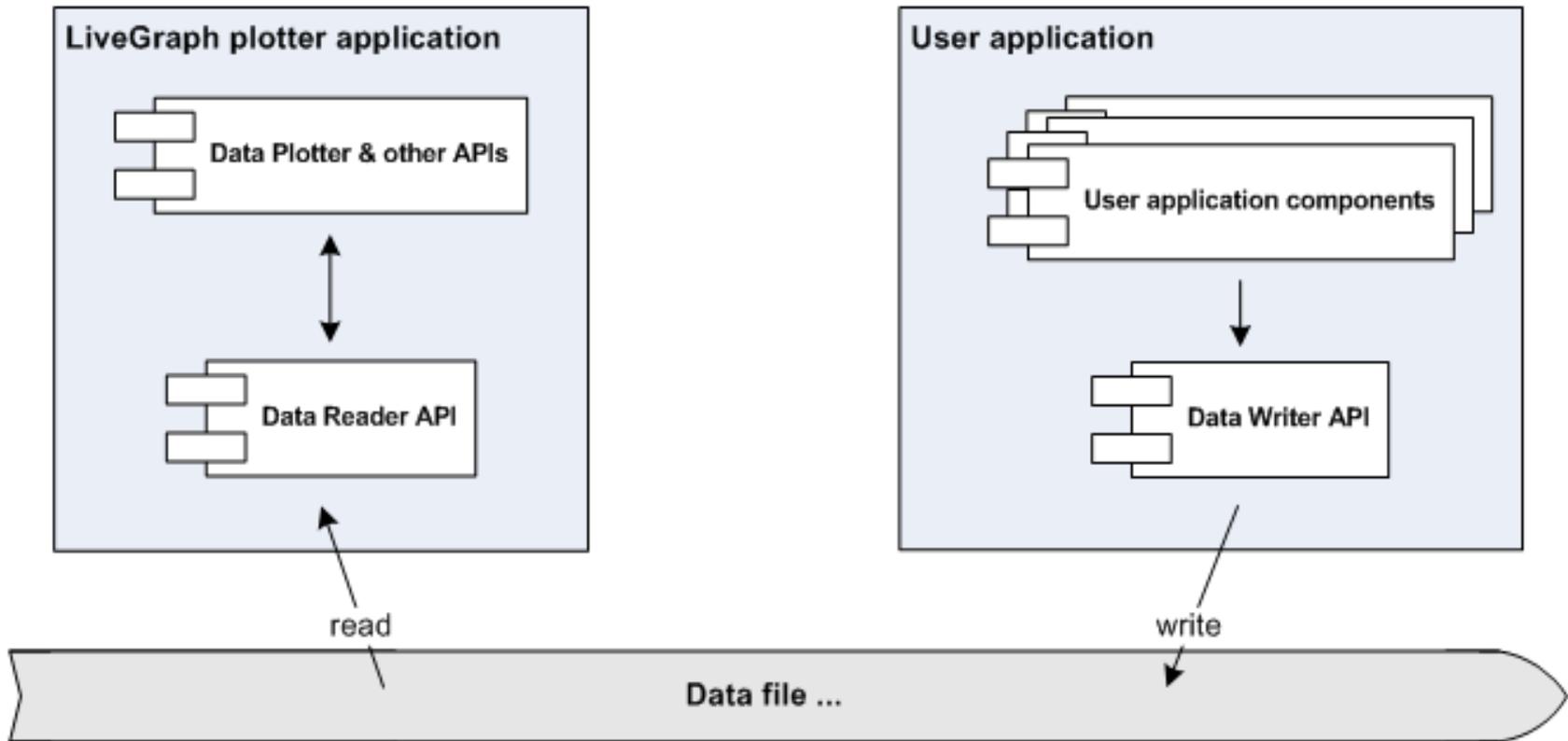
Основной интерфейс оператора



Вспомогательный интерфейс оператора



Общая схема интеграции системы визуализации и пользовательского приложения

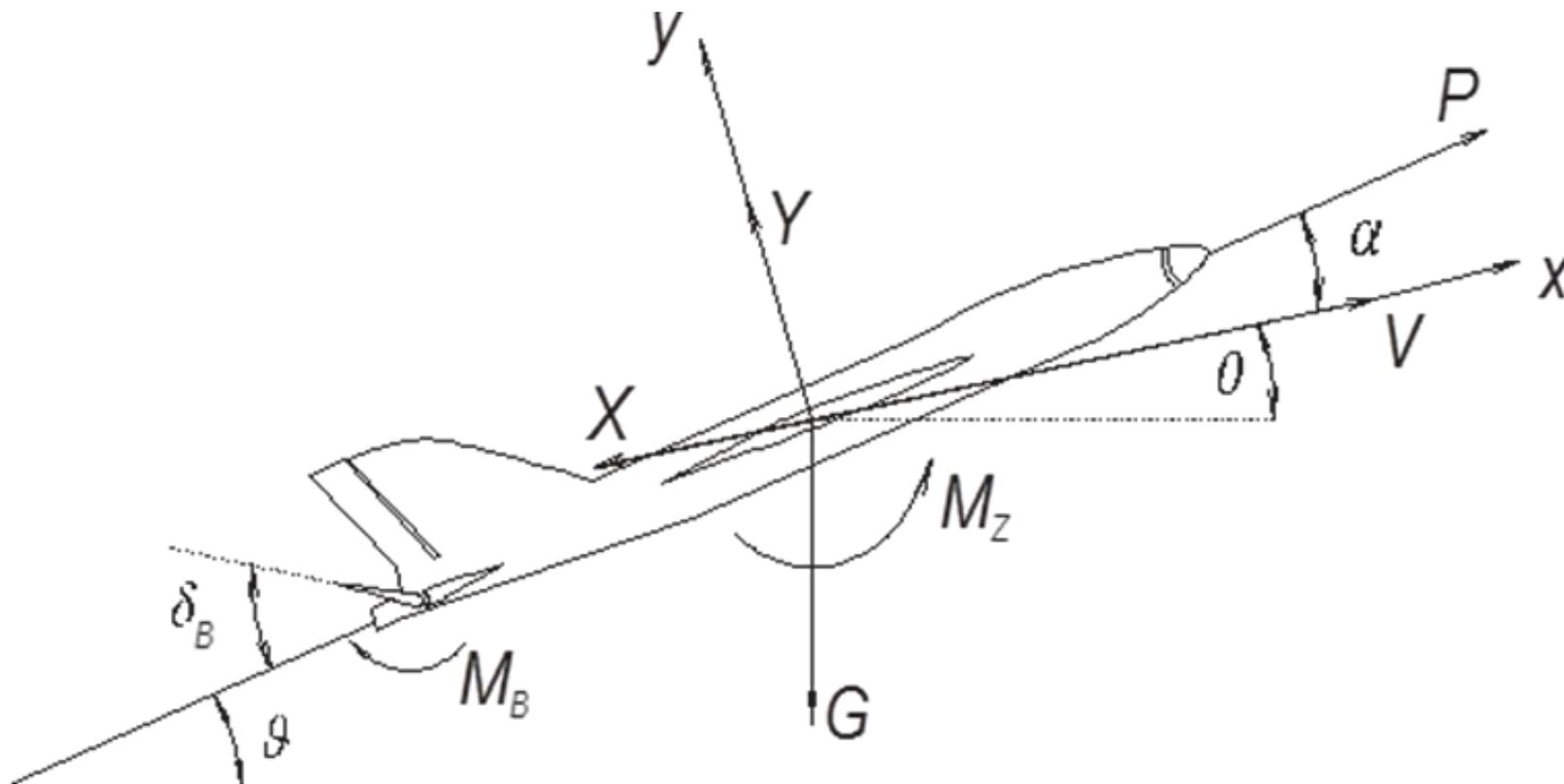


Математическая модель движения БЛА

$$\left\{ \begin{array}{l}
 m\dot{V} = P \cos \alpha - X - mg \sin \theta \\
 X = C_{xa} q S_x \\
 q = \frac{\rho V^2}{2} \\
 mV\dot{\theta} = P \sin \alpha + Y - mg \cos \theta \\
 Y = C_y q S_x \\
 mV\dot{\varphi} = P \sin \beta + Z \\
 P \leq P_{\max} \\
 \theta \leq \theta_{\max} \\
 Z = C_z q S_x \\
 \dot{z} = V \sin \theta \\
 \dot{y} = V \sin \varphi \cos \theta \\
 \dot{x} = V \cos \theta \cos \varphi \\
 \dot{m} = -\mu \\
 \delta_b = K_{11}(\vartheta - \vartheta_{\text{пр}}) + K_{12}\dot{\vartheta} \\
 \delta_n = K_{21}(\gamma - \gamma_{\text{пр}}) + K_{22}\dot{\gamma} \\
 \delta_b \leq \delta_{b \max} \\
 \delta_n \leq \delta_{n \max} \\
 \vartheta = \theta + \alpha \\
 \gamma = \varphi + \beta
 \end{array} \right.$$

$\gamma_{\text{пр}}$ – заданный угол рыскания;
 K_{21} – коэффициент руля направления №1;
 K_{22} – коэффициент руля направления №2;
 $\vartheta_{\text{пр}}$ – заданный угол тангажа;
 K_{11} – коэффициент руля высоты №1;
 K_{12} – коэффициент руля высоты №2;
 δ_n – отклонение руля направления;
 γ – угол рыскания;
 $\vartheta_{\text{пр}}$ – заданный угол тангажа;
 x – координата по оси X;
 y – координата по оси Y;
 z – координата по оси Z;
 δ_b – отклонение руля высоты;
 ϑ – угол тангажа;
 β – угол скольжения;
 Z – аэродинамическая боковая сила;
 C_z – безразмерный аэродинамический коэффициент боковой силы;
 φ – угол направления;
 m – масса летательного аппарата;
 V – скорость летательного аппарата;
 P – сила тяги двигателя;
 α – угол атаки;
 X – сила лобового сопротивления;
 C_{xa} – безразмерный аэродинамический коэффициент силы лобового сопротивления;
 q – скоростной напор;
 S_x – характерная площадь;
 ρ – плотность воздуха;
 Y – аэродинамическая подъёмная сила;
 C_y – безразмерный аэродинамический коэффициент подъёмной силы;
 θ – угол наклона траектории;
 g – ускорение свободного падения;
 \dot{H} – вертикальная компонента скорости;
 \dot{L} – горизонтальная компонента скорости;
 μ – количество топлива (кг), сжигаемого в секунду (секундный массовый расход топлива).

БЛА в скоростной системе координат



Для инициализации ЛТХ БЛА за основу был взят американский стратегический разведывательный БЛА RQ-4 Global Hawk



Проблемы управления автономными
робототехническими комплексами,
12 февраля 2018 г., ИПУ РАН

Таблица Г.1 – Летно-технические характеристики БПЛА RQ-4 Global Hawk

ЛТХ	Значение
Размах крыла, м	35.42
Длина, м	13.53
Высота, м	4.62
Характерная площадь, м ²	8
Масса, кг	
пустого	7681
топлива	6947
Тип двигателя	1 турбореактивный двухконтурный двигатель Allison AE3007H
Тяга, Н	31400
Максимальная скорость, км/ч	639
Радиус действия, км	4445
Продолжительность полета, ч	38
Практический потолок, м	19800

. Конфигурация БПЛА RQ-4 Global Hawk в UAVsettings.exe

Конфигурация БПЛА

Параметры БПЛА | Маршрут

БПЛА RQ-4 Global Hawk

Сила тяги двигателя	31400	Н
Коэффициент сопротивления C_{xa}	0.2308	
Коэффициент подъемной силы	0.8	
Коэффициент боковой силы	0.8	
Масса пустого	7681	кг
Масса топлива	6947	кг
Сгорание топлива	0.0689	кг/с
Характерная площадь S_x	8	м ²

Параметры автопилота:

1) Руль высоты:
 $\delta_v = K_{11}(\vartheta - \vartheta_{пр}) + K_{12}\dot{\vartheta}$

K11 5.3

K12 0.6

2) Руль направления:
 $\delta_n = K_{21}(\gamma - \gamma_{пр}) + K_{22}\dot{\gamma}$

K21 5.3

K22 0.6

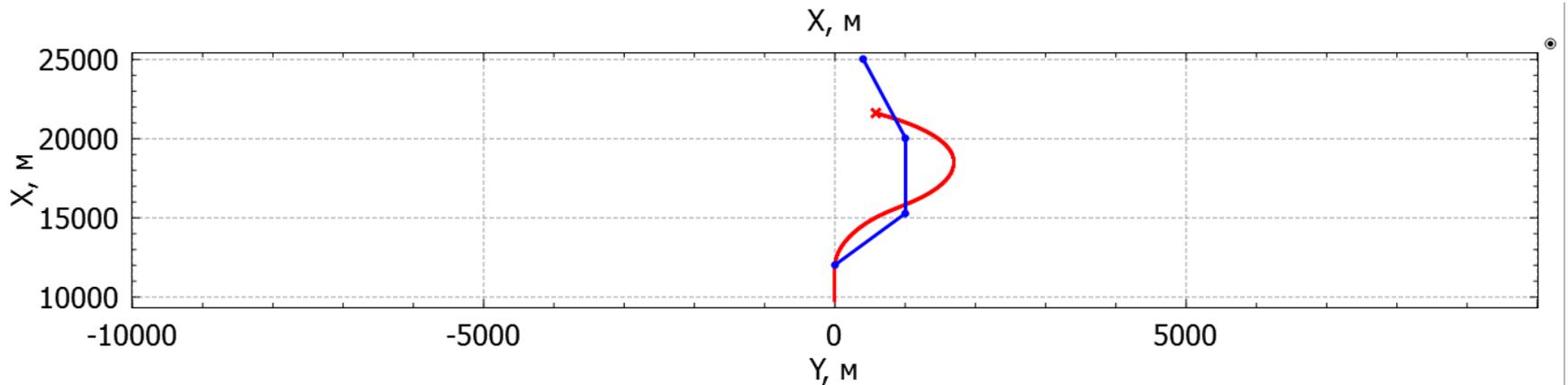
Загрузить

. Набор высоты в зависимости от массы топлива

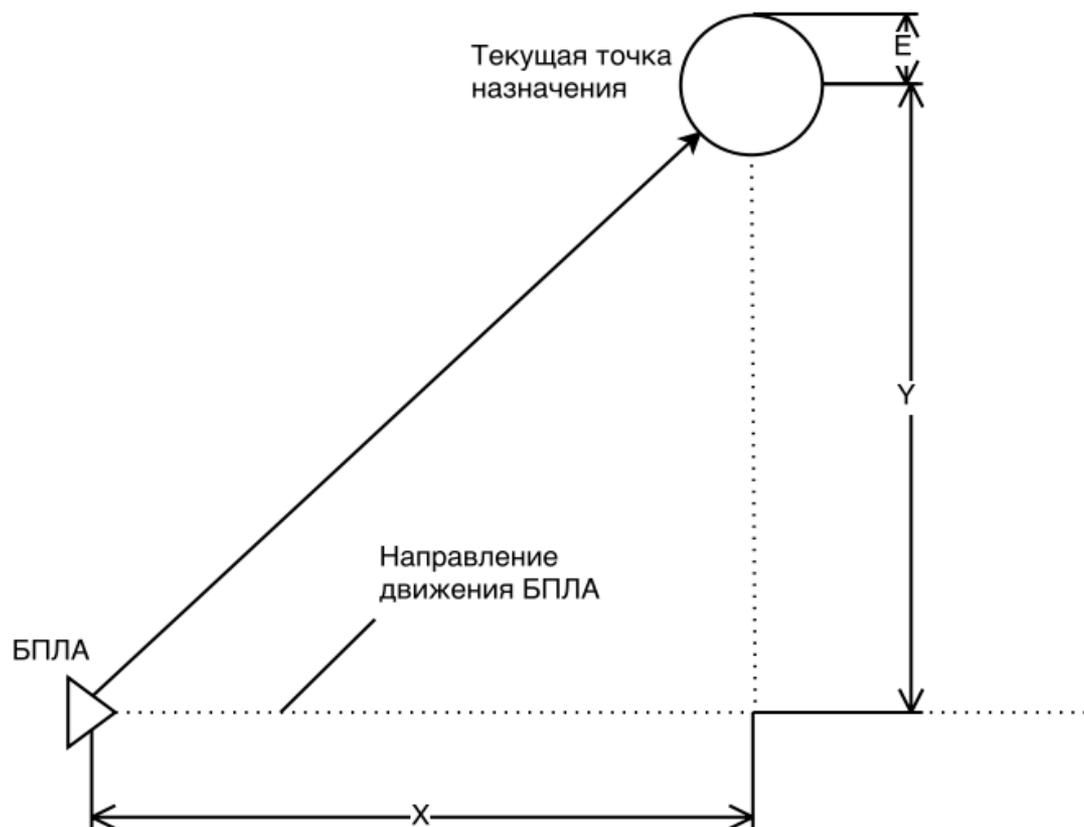
№ теста	Масса топлива, кг	Время набора высоты 100 м, сек
1	300	50
2	900	52
3	1500	55
4	2100	57
5	2700	60
6	3300	64
7	3900	66
8	4500	69
9	5100	72
10	5700	74

. Результаты прохождения маршрута БПЛА RQ-4 Global Hawk при различных уровнях начальной заправки

№ теста	Масса топлива, кг	Разница между планируемым маршрутом и пройденной траекторией, м
1	300	Маршрут не пройден
2	900	Маршрут не пройден
3	1500	Маршрут не пройден



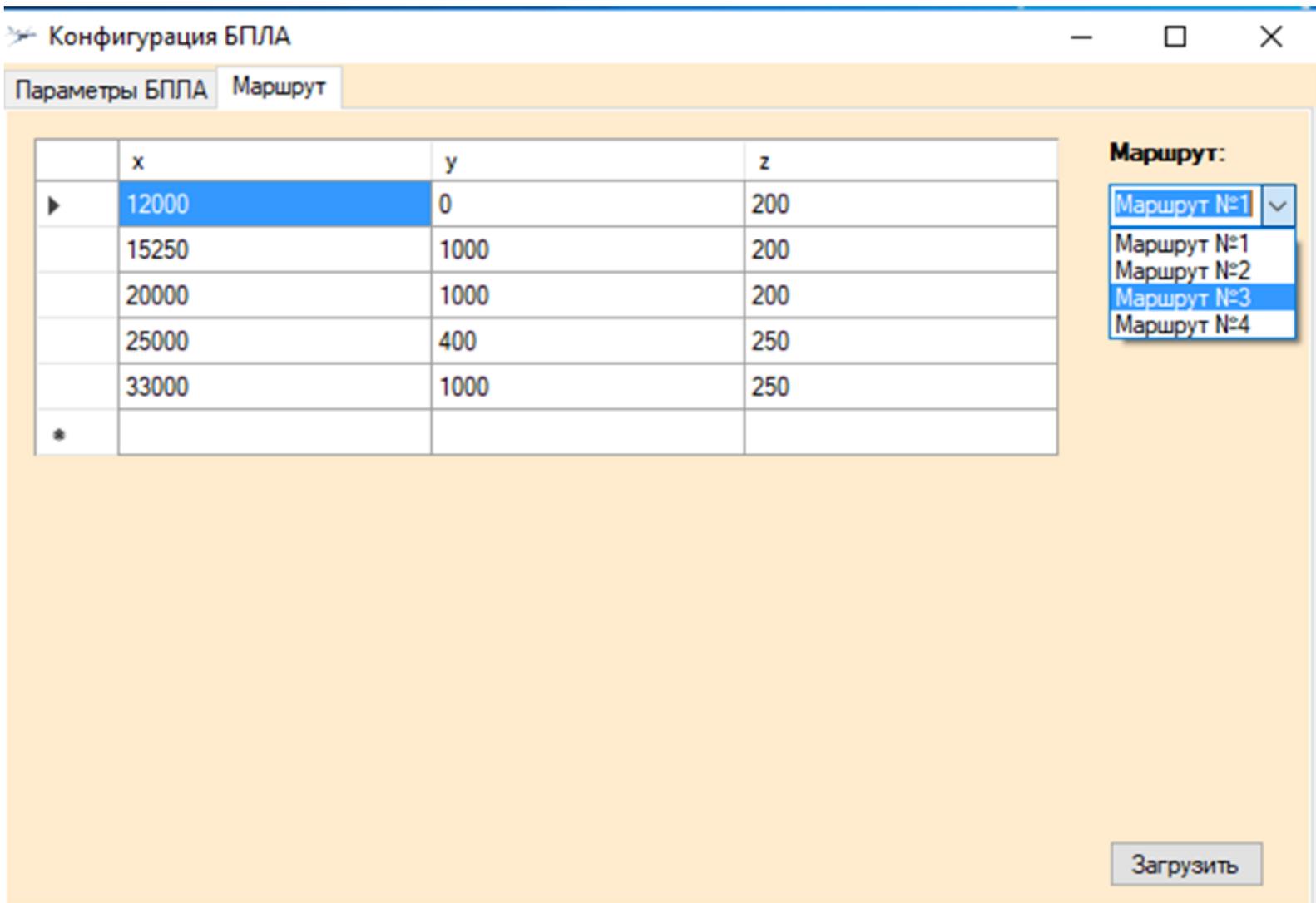
Движение БПЛА к следующей точке маршрута



Возможность достижения точки аппаратом в зависимости от соотношения X:Y и его массы

№ теста	Масса топлива, кг	X, м	Y, м	Точка достигнута, да/нет
1	300	1000	1000	нет
2		3000		да
3		2000		нет
4		2500		нет
5		2750		да
6		2700		нет
7	900	2750	1000	нет
8		3000		да
9	1500	3000	1000	нет
10		3250		да

Маршрут, заданный в вспомогательной системе UAVsettings.exe



The screenshot shows the 'Конфигурация БПЛА' (UAV Configuration) window. It has two tabs: 'Параметры БПЛА' (UAV Parameters) and 'Маршрут' (Route). The 'Маршрут' tab is active, displaying a table with columns 'x', 'y', and 'z'. The first row is highlighted in blue. To the right of the table is a dropdown menu labeled 'Маршрут:' with a list of options: 'Маршрут №1', 'Маршрут №2', 'Маршрут №3', and 'Маршрут №4'. The 'Маршрут №3' option is selected. At the bottom right of the window is a button labeled 'Загрузить' (Load).

	x	y	z
▶	12000	0	200
	15250	1000	200
	20000	1000	200
	25000	400	250
	33000	1000	250
*			

Маршрут:

- Маршрут №1
- Маршрут №2
- Маршрут №3
- Маршрут №4

Загрузить

Таблица Г.2 – Летно-технические характеристики БПЛА Ту-141 Стриж

ЛТХ	Значение
Размах крыла, м	3.875
Длина самолета, м	14.33
Высота, м	2.435
Характерная площадь, м ²	10.00
Масса, кг	
пустого	4370
топлива	1000
Тип двигателя	1 турбореактивный двигатель КР-17А
Тяга, Н	19600
Максимальная скорость, км/ч	1110
Дальность полета, км	1000
Практический потолок, м	6000

Таблица Г.3 – Летно-технические характеристики БПЛА Х-47А

ЛТХ	Значение
Размах крыла, м	8.47
Длина, м	8.50
Характерная площадь, м ²	8
Высота, м	1.86
Масса, кг	
пустого	1740
топлива	1238
Тип двигателя	1 турбореактивный двухконтурный двигатель Pratt & Whitney Canada JT15D-5C
Тяга, Н	14200
Практическая дальность, км	2778
Практический потолок, м	12192

Конфигурация БПЛА X-47A в UAVsettings.exe

Конфигурация БПЛА

Параметры БПЛА | Маршрут

БПЛА X-47A

Сила тяги двигателя 14200 Н

Коэффициент сопротивления $S_{x\alpha}$ 0.2308

Коэффициент подъёмной силы 0.8

Коэффициент боковой силы 0.8

Масса пустого 1740 кг

Масса топлива 1238 кг

Сгорание топлива 0.0689 кг/с

Характерная площадь S_x 8 м²

Параметры автопилота:

1) Руль высоты:

$$\delta_v = K_{11}(\vartheta - \vartheta_{пр}) + K_{12}\dot{\vartheta}$$

K11 5.3

K12 0.6

2) Руль направления:

$$\delta_{н} = K_{21}(\gamma - \gamma_{пр}) + K_{22}\dot{\gamma}$$

K21 5.3

K22 0.6

Загрузить

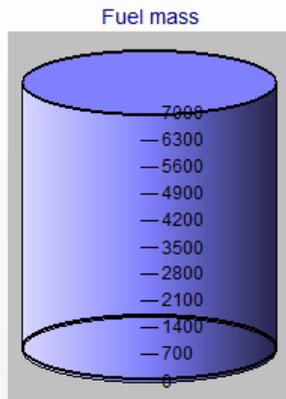
Литература

- 1. Полтавский, А.В. Многофункциональные комплексы беспилотных летательных аппаратов [Текст]: научное издание / А.В. Полтавский, А.А. Бурба, А.Е. Аверкин, В.В. Макаров, В.В. Маклаков. - М.: ИПУ РАН, 2015. - 127 с.
- 2. Douglass B. P. Real-Time UML Workshop for Embedded Systems. – Oxford, UK, Elsevier Inc., 2007. p.408.
- 3. Зыль С.Н. Проектирование, разработка и анализ программного обеспечения систем реального времени. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 336с.
- 4. Иванов М.С. Беспилотные летательные аппараты. [Текст]: Справочное пособие. / под общ. ред. С.А. Попова; ВУНЦ ВВС «ВВА». – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2015. 619с.
- 5. Комплексы с беспилотными летательными аппаратами. В 2-х кн.: Кн.1. Принципы построения и особенности применения комплексов с БЛА. Монография/ под ред. В.С. Вербы, Б.Г. Татарского. – М.: Радиотехника, 2016. – 512 с. Кн. 2. Робототехнические комплексы на основе БЛА. Монография/ под ред. В.С. Вербы, Б.Г. Татарского. – М.: Радиотехника, 2016. 824 с.
- 6. Разведывательный БПЛА RQ-4 Global Hawk // Беспилотные летательные аппараты URL: <http://bp-la.ru/ctategicheskij-razvedyvatelnyj-bpla-rq-4-global-hawk/> (дата обращения: 08.04.2017).

Спасибо за внимание

- с.н.с, к.т.н., makarov@ipu.ru

Дополнительный интерфейс системы управления БПЛА



Движение по траектории

evStartMotionInPath evStopMotionInPath

Start Stop

destinationX

destinationY

destinationZ

Атмосферные влияния

evStartStormCloud "Болтанка" в условиях грозового облака

Active Start

evStartAirPocket Воздушная яма

Active Start

evStartGust Вертикальные порывы ветра

Active Start

evStopAtmosphere Выключить атмосферные явления

Stop

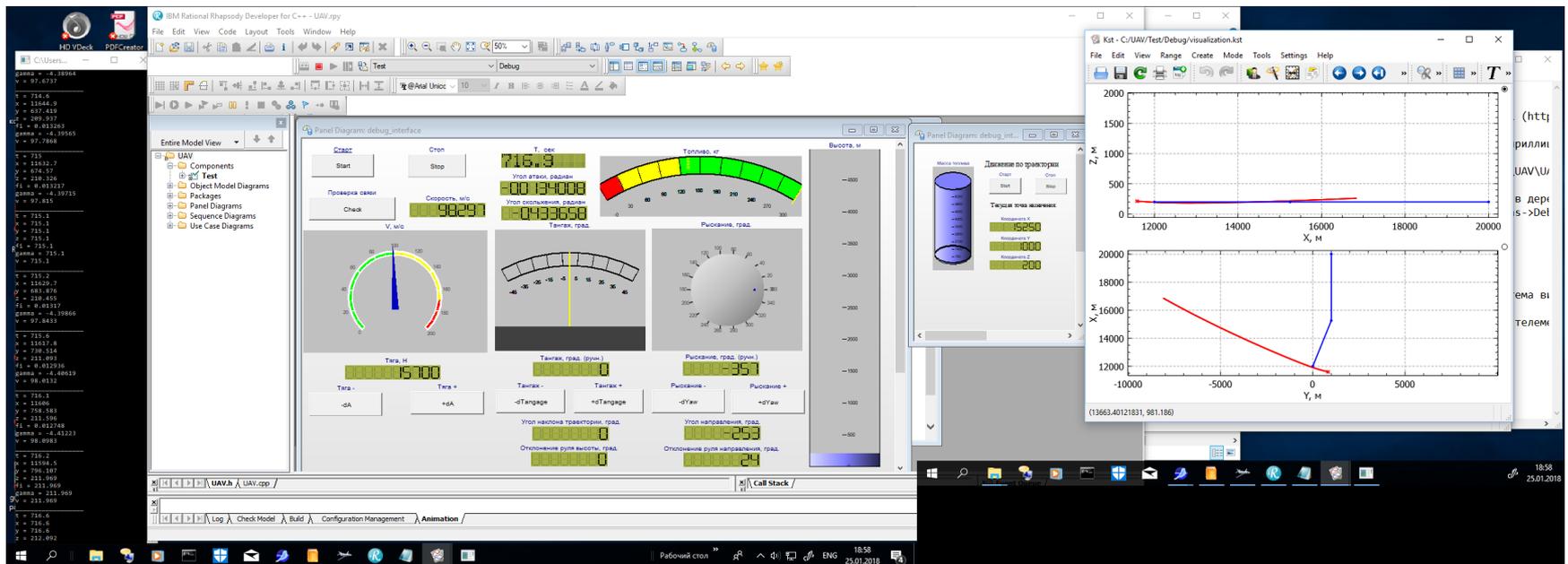
Скорость ветра (по горизонтали и вертикали)

evWindSpeedThree Малая - до 3 м/с (по умолчанию)

evWindSpeedSeven Умеренная - до 7 м/с

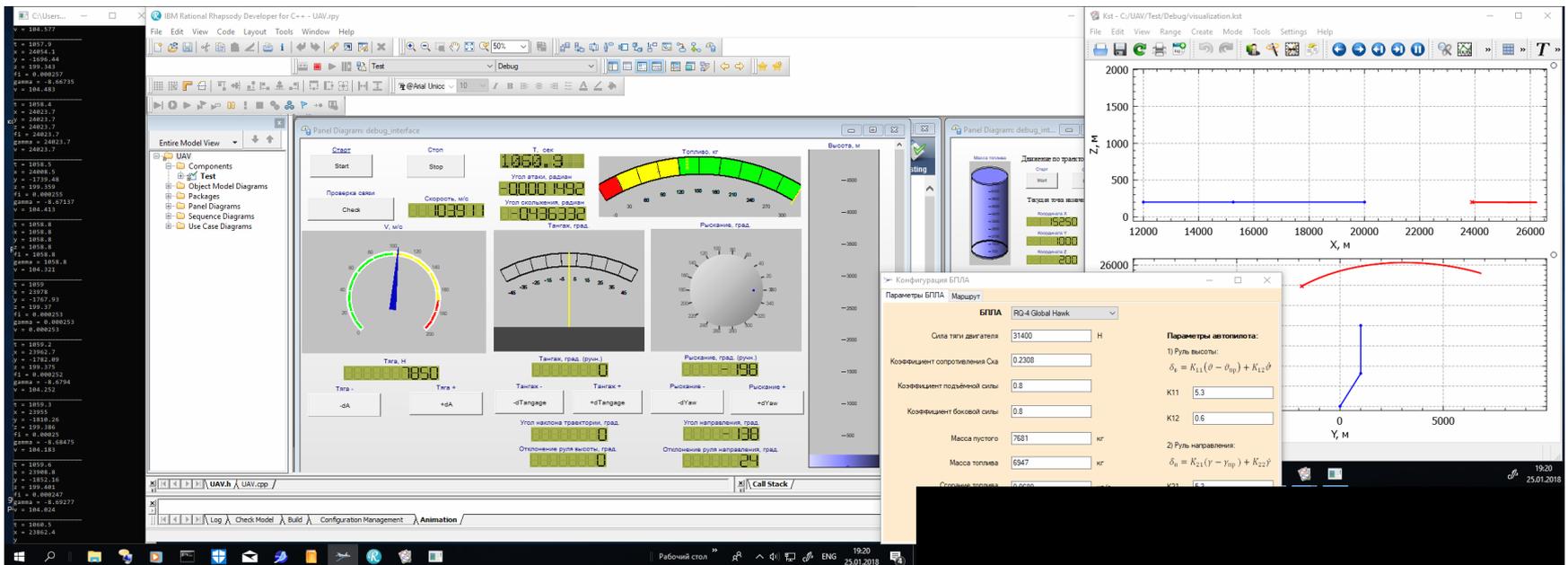
evWindSpeedFourteen Высокая - до 14 м/с

Многооконный интерфейс оператора (движение БПЛА RQ-4 Global Hawk через заданные опорные точки)



Проблемы управления автономными
робототехническими комплексами,
12 февраля 2018 г., ИПУ РАН

Многооконный интерфейс оператора (движение БПЛА RQ-4 Global Hawk через заданные опорные точки)



Многооконный интерфейс оператора (движение БПЛА RQ-4 Global Hawk через заданные опорные точки)

The screenshot displays a multi-window operator interface for UAV control. The main window, titled 'Panel Diagram: debug_interface', contains several gauges and controls:

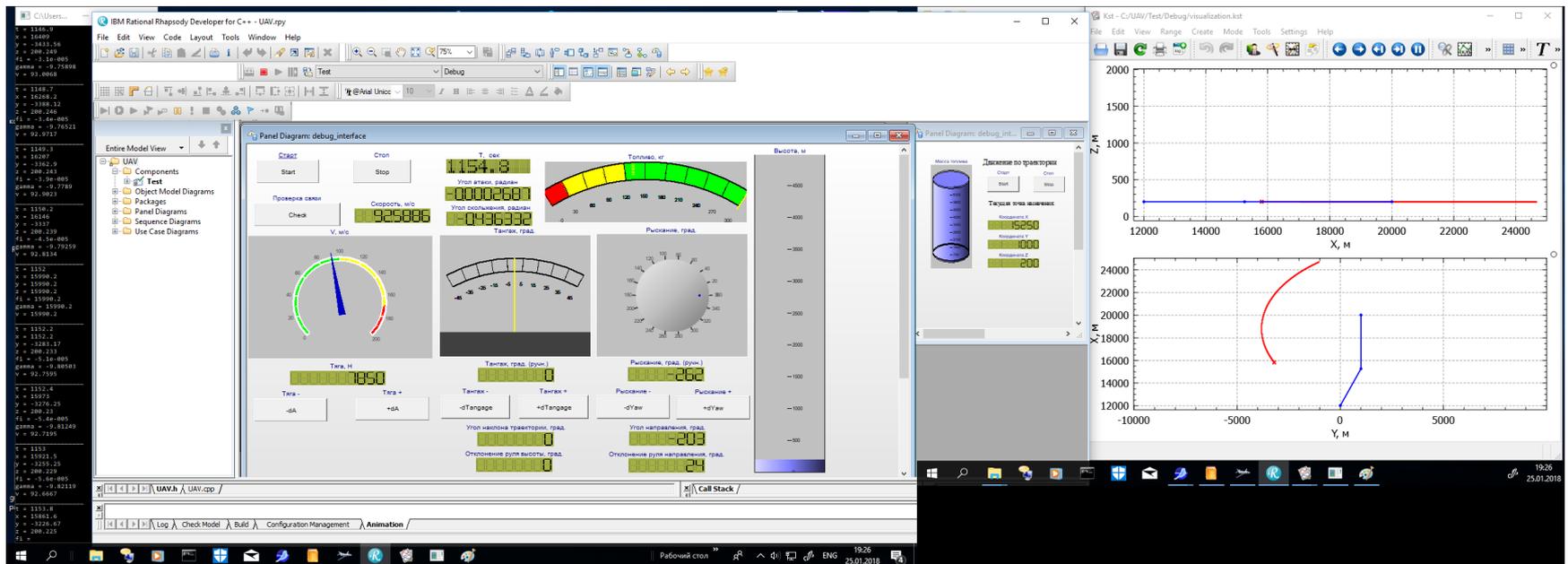
- Speed (Скорость, м/с):** 9708.13
- Altitude (Высота, м):** 1103.3
- Roll (Тангаж, град):** -0436332
- Pitch (Крен, град):** 7850
- Yaw (Рыскание, град):** -222
- Roll rate (Тангаж, град./сек):** 0
- Pitch rate (Рыскание, град./сек):** 24
- Yaw rate (Угол наклона траектории, град.):** 0
- Roll angle (Угол наклона, град.):** 16
- Pitch angle (Угол поворота, град.):** 24

A 'Конфигурация БПЛА' (UAV Configuration) window is open, showing a table of waypoints and a 3D path visualization:

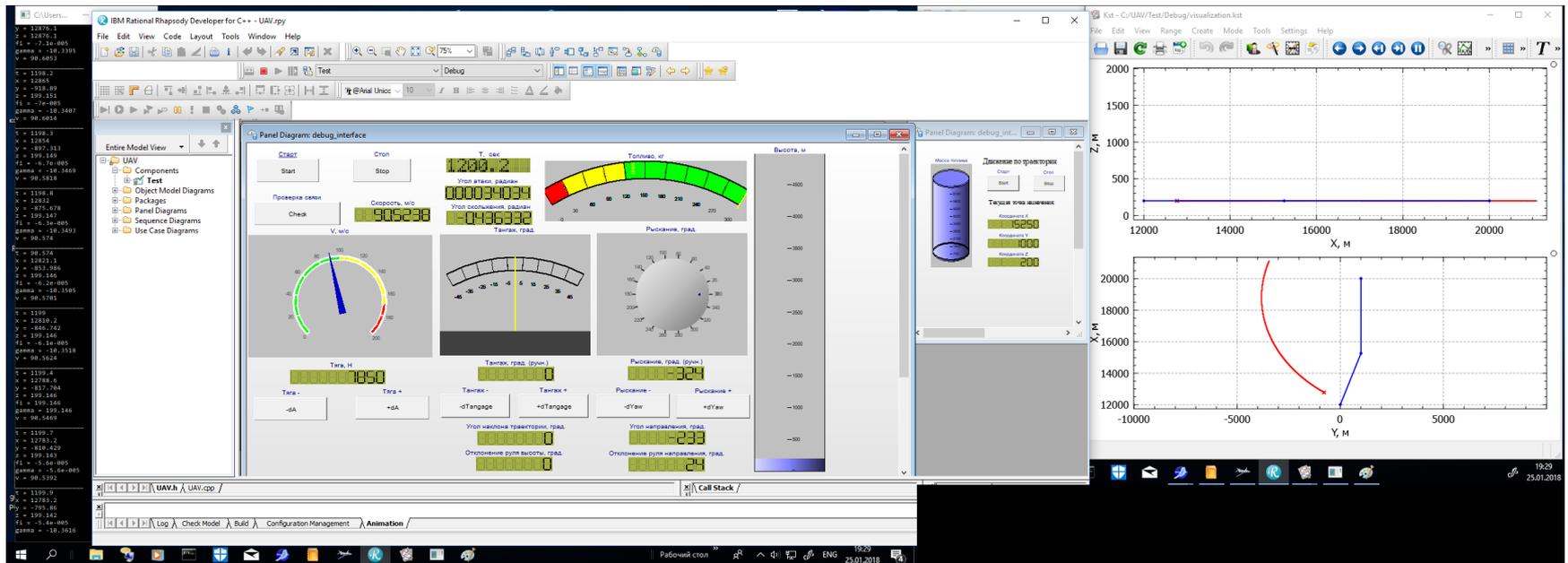
x	y	z
12000	0	200
15250	1000	200
20000	1000	200
25000	400	250
33000	1000	250

The 3D path visualization shows a blue line representing the flight path, starting at (12000, 0, 200) and ending at (33000, 1000, 250). The path is labeled 'Маршрут: Маршрут №1'.

Многооконный интерфейс оператора (движение БПЛА RQ-4 Global Hawk через заданные опорные точки)

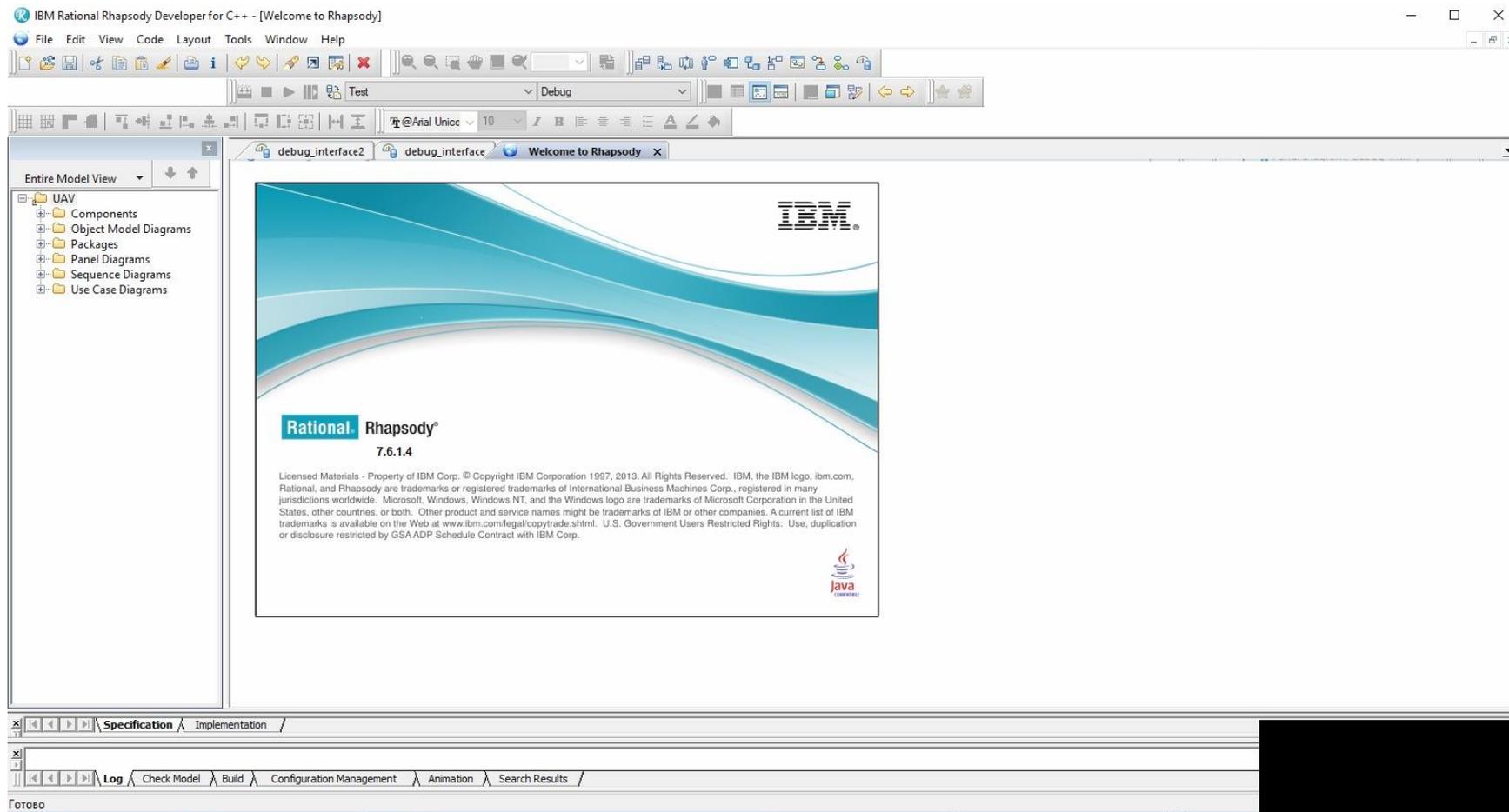


Многооконный интерфейс оператора (движение БПЛА RQ-4 Global Hawk через заданные опорные точки)

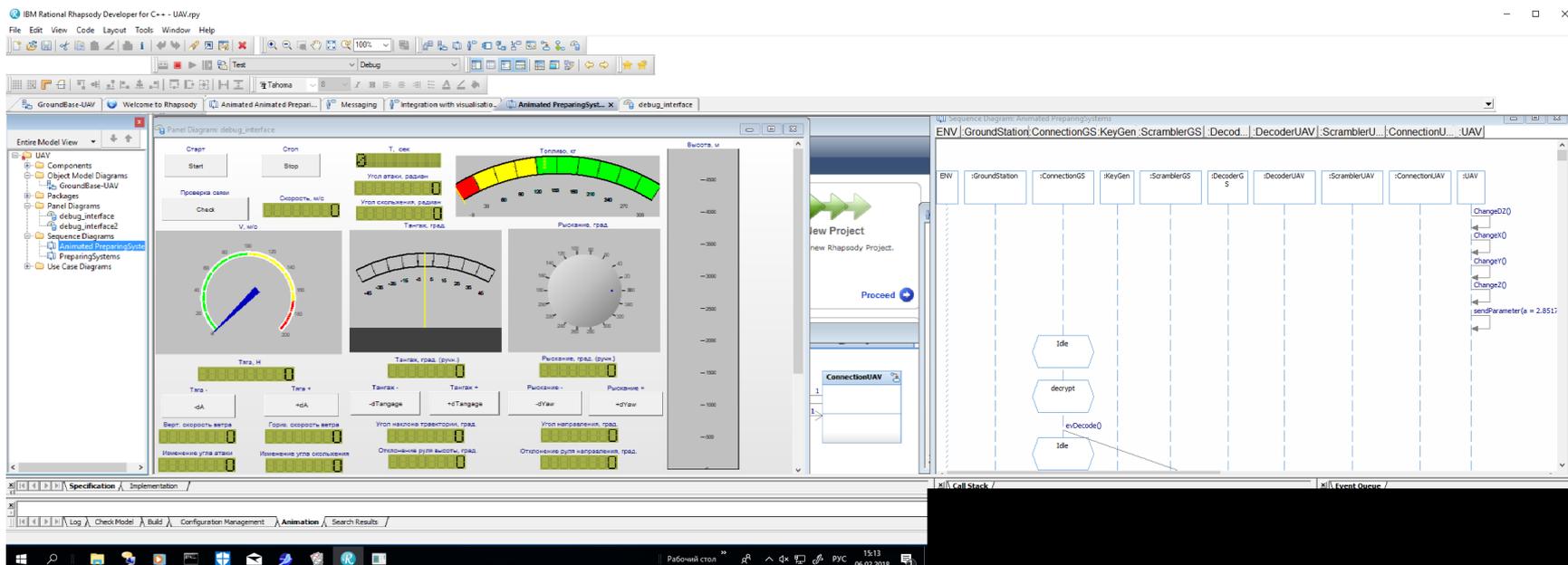


Проблемы управления автономными
робототехническими комплексами,
12февраля 2018 г., ИПУ РАН

Интерфейс системы разработки



Снимок с двух мониторов: система разработки + динамический анимационный интерфейс оператора + анимация диаграммы последовательностей (UML). Запуск БЛА.



Снимок с двух мониторов: система разработки + телеметрия системы + динамический анимационный интерфейс оператора + вспомогательный интерфейс оператор + анимация диаграммы последовательностей (UML). Запуск системы шифрования данных канала связи оператора и БЛА.

