

ПАО «НПП «Аэросила»

Конкурсная работа

«Программный комплекс имитационного моделирования силовой установки (ТВД) легкого военно-транспортного самолета Ил-112В»

В рамках выполнения гособоронзаказа по разработке воздушного винта АВ112 для легкого военно-транспортного самолета (ЛВТС) Ил-112В был разработан программный комплекс имитационного моделирования силовой установки (СУ), интерфейс которого представлен на Рисунке 1. Элементы управления СУ, представленные на Рисунке 1 соответствуют органам управления СУ, размещенным в кабине самолета Ил-112В.

Программный комплекс позволяет:

- моделировать статические режимы работы силовой установки;
- моделировать переходные режимы работы силовой установки;
- моделировать работу силовой установки на различных скоростях и высотах полета, при различных значениях отклонений от МСА температуры и давления окружающей атмосферы;
- визуализировать в режиме псевдореального времени более 190 параметров силовой установки в виде графических зависимостей на многошкальном настраиваемом интерфейсе (см. Рисунок 1; полный перечень визуализируемых параметров приведен в Приложении А);
- визуализировать рабочую точку узлов двигателя (осевые ступени компрессора, центробежная ступень компрессора, турбина компрессора, свободная турбина) непосредственно при проведении моделирования в режиме псевдореального времени (Рисунок 2);
- визуализировать рабочую точку на аэродинамических характеристиках (АДХ) воздушного винта непосредственно при проведении моделирования в режиме псевдореального времени (Рисунок 3);
- визуализировать распределение аэродинамических сил и моментов вдоль пера лопасти, рассчитанных с применением вихревой теории, непосредственно при проведении моделирования в режиме псевдореального времени (Рисунок 4);
- регистрировать значения более 250 параметров силовой установки в табличном виде;
- при необходимости получать информацию о более 1000 моделируемых параметрах агрегатов СУ (термогазодинамические параметры вдоль проточной части двигателя, аэродинамические параметры воздушного винта, гидравлические параметры системы автоматического управления (САУ).

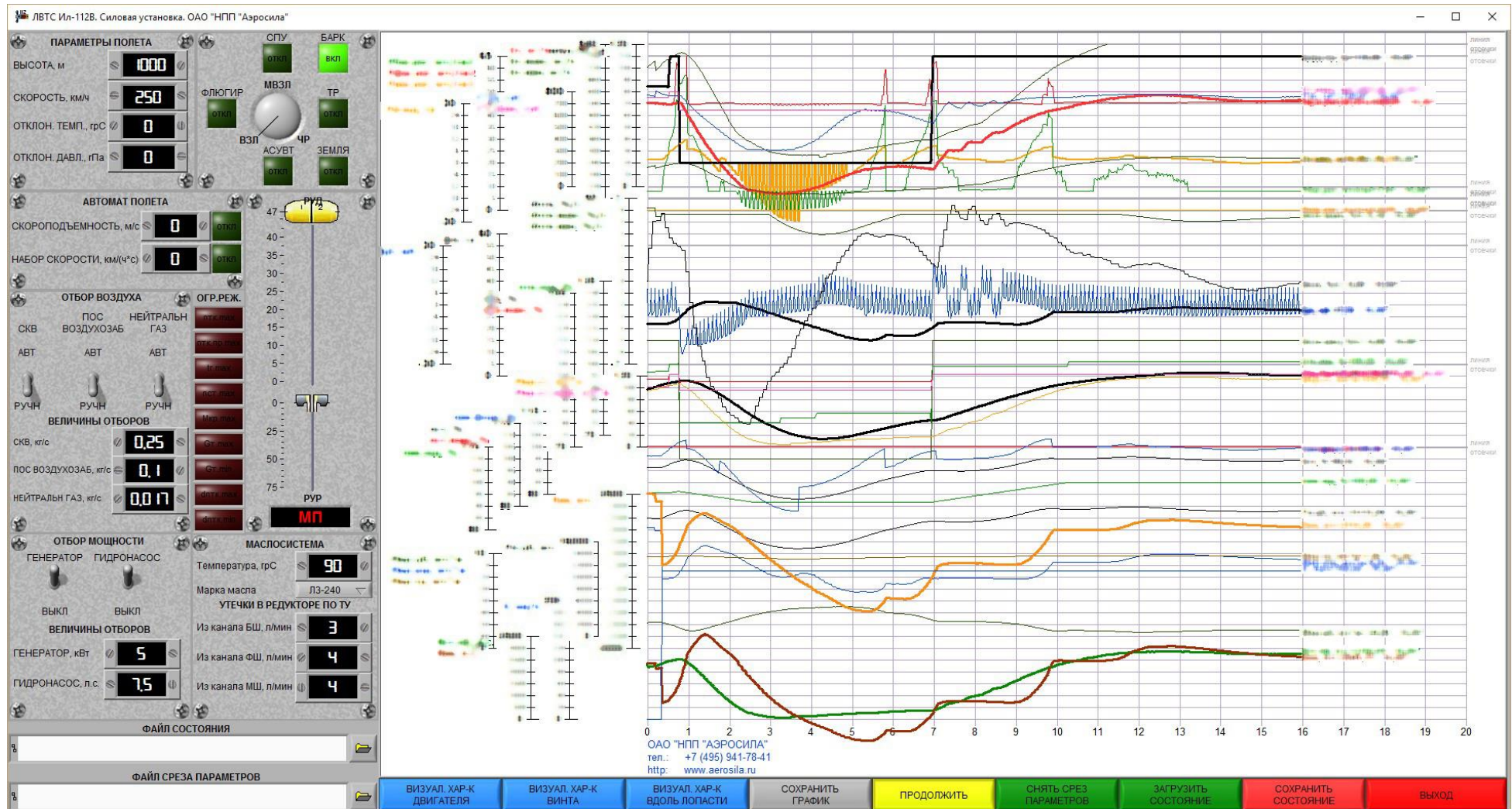


Рисунок 1 – Интерфейс программного комплекса СУ ЛВТС Ил-112В

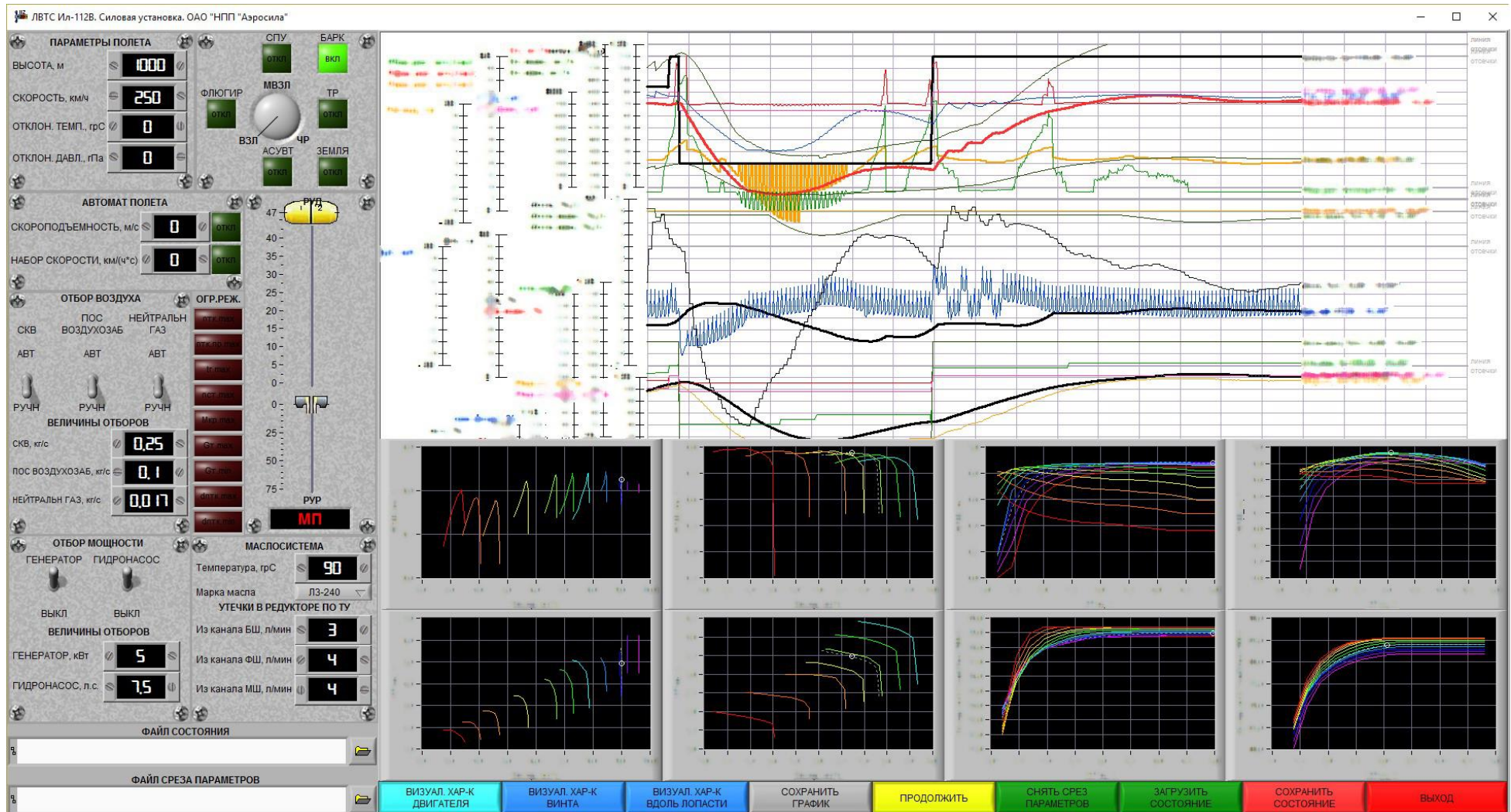


Рисунок 2 – Визуализация рабочей точки узлов двигателя в программном комплексе СУ ЛВТС Ил-112В

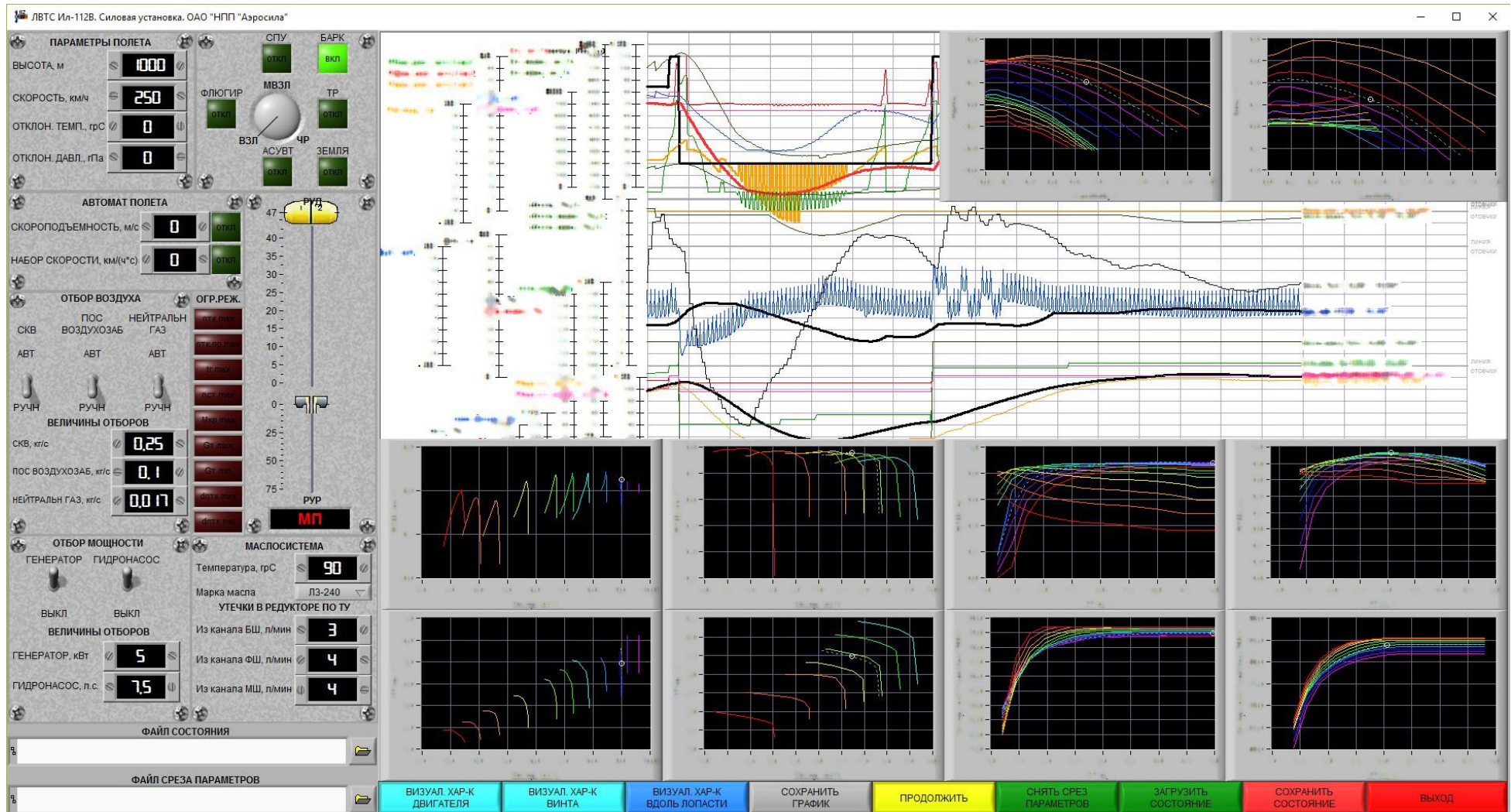


Рисунок 3 – Визуализация рабочей точки на аэродинамических характеристиках воздушного винта в программном комплексе СУ ЛВТС Ил-112В

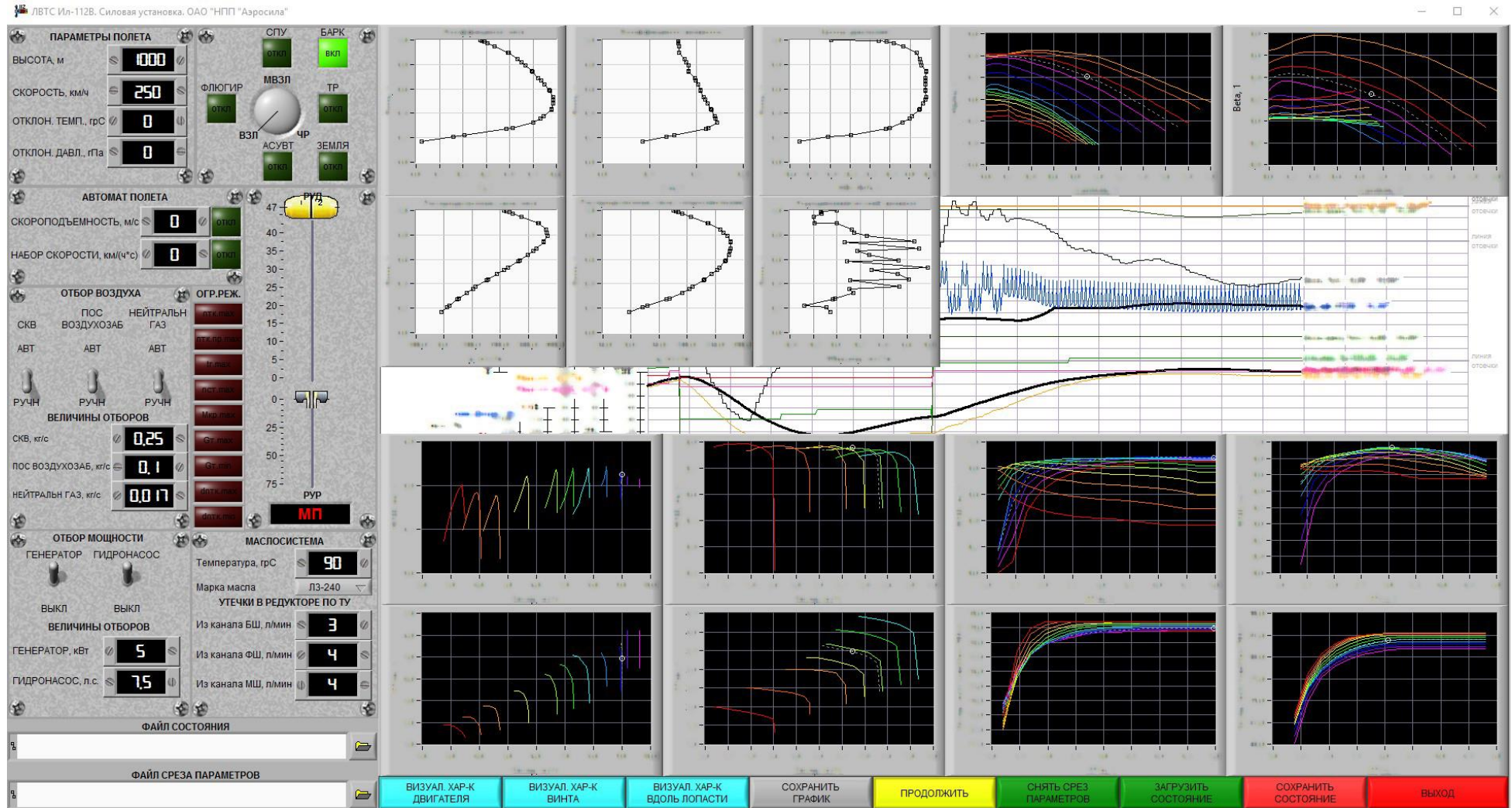


Рисунок 4 – Визуализация распределения аэродинамических сил и моментов вдоль пера лопасти в программном комплексе СУ ЛВТС Ил-112В

Структура математических моделей программного комплекса СУ ЛВТС Ил-112В представлена на Рисунке 5.

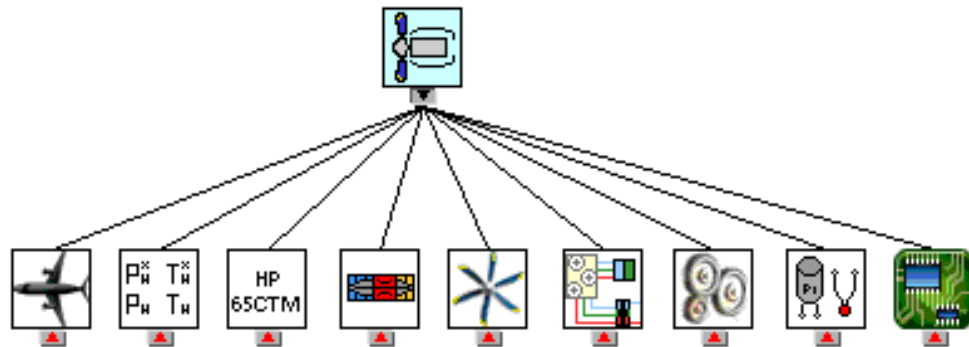






Рисунок 5 – Структура математических моделей программного комплекса СУ ЛВТС Ил-112В


Как видно из Рисунка 5, программный комплекс состоит из следующих математических моделей:


- математическая модель борта летательного аппарата, обозначаемая пиктограммой , производит расчет высоты и скорости полета, расчет значений отбираемого от двигателя сжатого воздуха на СКВ, ПОС и нейтральный газ;


- математическая модель параметров атмосферы, обозначаемая пиктограммой , производит расчет в соответствии с ГОСТ 4401-81 основных параметров окружающей среды (физическое давление, физическая температура, плотность воздуха, давление торможения, температура торможения, число Маха и др.), в том числе, с учетом заданных отклонений физической температуры и физического давления от МСА;


- математическая модель топливного насоса-регулятора HP-65CTM, обозначаемая пиктограммой , производит расчет положения дозирующей иглы и направляющего аппарата компрессора двигателя;


- математическая модель двигателя ТВ7-117СТ, обозначаемая пиктограммой , представляет поэлементную нелинейную модель двигателя, состоящую из основных узлов двигателя (входное устройство, осевые ступени компрессора, центробежная ступень компрессора, камера сгорания, турбина компрессора, свободная турбина, выхлопное устройство), и производит расчет термодинамических параметров в различных сечениях проточной части двигателя;

- математическая модель воздушного АВ112, обозначаемая пиктограммой , представляет поэлементную нелинейную модель воздушного винта и производит расчет кинематических, аэродинамических и механических параметров воздушного винта;

- математическая модель гидравлической части САУ, обозначаемая пиктограммой , представляет поэлементную нелинейную модель системы регулятор гидромеханический – каналы редуктора – втулка винта, состоящую из основных элементов этой системы (золотники, маслонасос, редукционный клапан, фильтра, шариковый клапан, электрогидропреобразователь, электромагнитные клапаны, центробежный регулятор, гидравлические каналы и т.д.), и производит расчет гидравлических параметров в различных сечениях каналов управления гидравлической САУ;

- математическая модель механической части редуктора, обозначаемая пиктограммой , производит расчет механических параметров редуктора двигателя;

- математическая модель имитаторов датчиков, обозначаемая пиктограммой , позволяет моделировать сигналы, учитывая их запаздывание и инерционность, с различных датчиков СУ;

- математическая модель электронной САУ БАРК-65СТМ, обозначаемая пиктограммой , производит расчет сигналов управления топливным дозатором, воздушным винтом и регулятором направляющего аппарата компрессора.

Результаты, достигнутые посредством применения программного комплекса имитационного моделирования СУ ЛВТС Ил-112В:

Применение программного комплекса имитационного моделирования позволило:

1. на этапе выпуска РКД выявить дефект агрегата гидравлической САУ воздушного винта и устранить его до начала изготовления опытных образцов;
2. до проведения наземных и летных испытаний на самолете выявить и устранить несовершенство алгоритмов управления воздушным винтом;
3. проверить работоспособность САУ и силовой установки в целом при моделировании различных отказных ситуаций, недопустимых для имитирования в эксплуатации по причине опасности;
4. синтезировать законы управления воздушным винтом;
5. рассчитать запасы устойчивости САУ в части воздушного винта;
6. определить перечень проблемных вопросов, связанных с применением винтомоторной силовой установки на объекте;
7. исследовать переходные процессы на различных скоростях и высотах полета, при различных ожидаемых отклонениях температуры и давления от значений по МСА.

Начальник бригады разработки агрегатов САУ
ПАО «НПП «Аэросила»



А.В. Иванов

Приложение А

Таблица А.1 – Параметры программного комплекса имитационного моделирования «Силовая установка легкого военно-транспортного самолета Ил-112В», доступные для визуализации в графической форме

№	Наименование параметра
1	Высота
2	Скорость
3	Отклонение температуры от МСА
4	Отклонение давления от МСА
5	Число Маха
6	Давление торможения на входе в двигатель
7	Температура торможения на входе в двигатель
8	Давление окружающей среды
9	Температура окружающей среды
10	Плотность воздуха
11	Сигнал с кнопки "БАРК"
12	Сигнал "ЗЕМЛЯ"
13	Сигнал с кнопки "ТИХОЕ РУЛЕНИЕ"
14	Сигнал с кнопки "АСУВТ"
15	Сигнал с кнопки "ФЛЮГИР"
16	Сигнал с кнопки "СПУ"
17	Положение селектора режимов СУ (0 - ВЗЛ; 1 - МВзл; 2 - ЧР)
18	Угловое положение РУД по лимбу самолета
19	Угловое положение РУР по лимбу самолета
20	Угловое положение РУД по лимбу насоса-регулятора
21	Расход воздуха, отбираемый на СКВ
22	Расход воздуха, отбираемый на ПОС воздухозаборника
23	Расход воздуха, отбираемый на нейтральный газ
24	Электрическая мощность, отбираемая от генератора
25	Механическая мощность, потребляемая гидронасосом
26	Марка масла
27	Температура масла
28	Общая тяга силовой установки
29	Удельный эквивалентный расход топлива $G_{т.уд.экв}$
30	Команда на электромагнит стоп-крана
31	Ток управления ЭГП топливного дозатора
32	Расход топлива в КС
33	Ток управления ЭГП НАК
34	Угловое положение НАК
35	Частота вращения ротора турбокомпрессора
36	Частота вращения ротора свободной турбины
37	Мощность компрессора

Продолжение таблицы А.1

№	Наименование параметра
38	Мощность турбины компрессора
39	Мощность свободной турбины
40	Мощность свободной турбины
41	Эффективная мощность свободной турбины
42	Эффективная мощность свободной турбины
43	Коэффициент восстановления полного давления в воздухозаборнике
44	Коэффициент восстановления полного давления во входном канале осевого компрессора
45	Коэффициент восстановления полного давления в камере сгорания
46	Коэффициент восстановления полного давления в затурбинном устройстве турбины компрессора
47	Коэффициент восстановления полного давления в затурбинном устройстве свободной турбины
48	Коэффициент восстановления полного давления в выходном устройстве самолета
49	Давление торможения на выходе из осевого компрессора
50	Давление торможения на выходе из центробежной ступени компрессора
51	Давление торможения на выходе из камеры сгорания
52	Давление торможения на выходе из турбины компрессора
53	Давление торможения на выходе из свободной турбины
54	Температура торможения на выходе из осевого компрессора
55	Температура торможения на выходе из центробежной ступени компрессора
56	Температура торможения на выходе из камеры сгорания
57	Температура торможения на выходе из турбины компрессора
58	Температура торможения на выходе из свободной турбины
59	Приведенная частота вращения осевого компрессора
60	Приведенная частота вращения центробежной ступени компрессора
61	Приведенная частота вращения турбины компрессора
62	Приведенная частота вращения свободной турбины
63	Расход воздуха через осевой компрессор
64	Расход воздуха через центробежную ступень компрессора
65	Расход газа через камеру сгорания
66	Расход газа через турбину компрессора
67	Расход газа через свободную турбину
68	Приведенный расход воздуха через осевой компрессор
69	Приведенный расход воздуха через центробежную ступень компрессора Гв.кц.пр, кг/с

Продолжение таблицы А.1

№	Наименование параметра
70	Приведенный расход газа через турбину компрессора
71	Приведенный расход газа через свободную турбину
72	Степень повышения давления торможения осевого компрессора
73	Степень повышения давления торможения центробежной ступени компрессора
74	Суммарная степень повышения давления торможения компрессора
75	Степень понижения давления торможения турбины компрессора
76	Степень понижения давления торможения свободной турбины
77	КПД осевого компрессора
78	КПД центробежной ступени компрессора
79	КПД турбины компрессора
80	КПД свободной турбины
81	Условное число Рейнольдса на входе в осевой компрессор
82	Условное число Рейнольдса на входе в центробежную ступень компрессора
83	Относительное число Рейнольдса на входе в турбину компрессора
84	Относительное число Рейнольдса на входе в свободную турбину
85	Относительный расход топлива в камере сгорания
86	Температура воздуха, отбираемого для СКВ
87	Давление воздуха, отбираемого для СКВ
88	Расход воздуха, отбираемый на ПОС двигателя
89	Тяга от реактивной струи двигателя
90	Угловое положение лопасти в контрольном сечении на радиусе $r=1450$ мм
91	Частота вращения ВВ
92	Относительная поступь винта
93	Коэффициент тяги ВВ
94	Коэффициент мощности ВВ
95	Коэффициент полезного действия ВВ
96	Тяга ВВ
97	Мощность ВВ
98	Крутящий момент от центробежных сил, действующих на одну лопасть
99	Крутящий момент от аэродинамических сил, действующих на одну лопасть
100	Крутящий момент от сил трения в заделках лопастей
101	Центробежная сила от лопасти
102	Сигнал на ЭМК включения электронной САУ
103	Сигнал на ЭМК затяжеления

Продолжение таблицы А.1

№	Наименование параметра
104	Сигнал на ЭМК снятия с промежуточного упора
105	Сигнал на ЭМК фиксации
106	Заданное угловое положение золотника ЭПП
107	Фактическое угловое положение золотника ЭПП по ДБСКТ
108	Линейное положение золотника ГМР
109	Мощность маслонасоса регулятора
110	Давление масла в канале БШ после регулятора
111	Давление масла в канале ФШ после регулятора
112	Давление масла в канале МШ после регулятора
113	Расход масла по каналу БШ на выходе из регулятора
114	Расход масла по каналу ФШ на выходе из регулятора
115	Расход масла по каналу МШ на выходе из регулятора
116	Линейное положение нижнего плунжера РК
117	Линейное положение верхнего плунжера РК
118	Заданная по ТУ утечка из канала БШ в редукторе
119	Заданная по ТУ утечка из канала ФШ в редукторе
120	Заданная по ТУ утечка из канала МШ в редукторе
121	Расчетная утечка из канала БШ в редукторе
122	Расчетная утечка из канала ФШ в редукторе
123	Расчетная утечка из канала МШ в редукторе
124	Линейное положение поршня ВВ относительно упора реверса
125	Скорость перемещения поршня ВВ
126	Расход в полость БШ ВВ
127	Расход в полость МШ ВВ
128	Утечка из канала БШ во втулке ВВ
129	Утечка из канала ФШ во втулке ВВ
130	Утечка из канала МШ во втулке ВВ
131	Температура газов за турбиной компрессора, измеренная термопарами
132	Сигнал режим "ПЧР" включен
133	Сигнал режим "ЧР" включен
134	Сигнал режим "МВзл" включен
135	Сигнал режим "МВзл" при tg.макс включен
136	Сигнал режим "ВЗЛ" включен
137	Сигнал режим "ВЗЛ при tg.макс" включен
138	Сигнал режим "МП" включен
139	Сигнал режим "Кр" включен
140	Сигнал режим "ПМГ" включен
141	Сигнал режим "ЗМГ" включен
142	Сигнал "Земной режим" включен
143	Сигнал "Полетный режим" включен

Продолжение таблицы А.1

№	Наименование параметра
144	Сигнал "Готов к реверсу" включен
145	Сигнал "Реверс" включен
146	Сигнал "Готов к тихому рулению" включен
147	Сигнал включения контура мощности в работу
148	Сигнал ограничения максимальной частоты вращения ротора ТК
149	Сигнал ограничения максимальной приведенной частоты вращения ротора ТК
150	Сигнал ограничения максимальной температуры газа за турбиной ТК
151	Сигнал ограничения максимальной частоты вращения ротора СТ
152	Сигнал ограничения максимального крутящего момента на валу СТ
153	Сигнал ограничения максимального расхода топлива
154	Сигнал ограничения минимального расхода топлива
155	Сигнал ограничения максимального режима
156	Сигнал ограничение минимального режима
157	Сигнал ограничения максимального ускорения ротора ТК
158	Сигнал ограничения максимального замедления ротора ТК
159	Сигнал на открытие КПП
160	Сигнал ограничения скорости изменения углового положения лопастей при вводе в реверс
161	Сигнал фиксация по режиму
162	Сигнал фиксация по раскрутке
163	Сигнал затяжеление по раскрутке
164	Сигнал включения ПОС двигателя
165	Ускорение ротора ТК, измеренное за период времени 0,1 с $d_{пТК}0.1$
166	Скорость полета в момент ввода ВВ в реверс
167	Значение форсированной частоты вращения ВВ
168	Частота вращения ротора ТК
169	Заданное значение частоты вращения ротора ТК
170	Максимальная частота вращения ротора ТК
171	Приведенная частота вращения ротора ТК
172	Максимальная приведенная частота вращения ротора
173	Корректированная температура газа за турбиной ТК
174	Максимальная температура газа за турбиной ТК
175	Частота вращения ротора СТ
176	Максимальная частота вращения ротора СТ
177	Крутящий момент на валу СТ
178	Максимальный крутящий момент на валу СТ
179	Ускорение ротора ТК

Продолжение таблицы А.1

№	Наименование параметра
180	Максимальное ускорение ротора ТК
181	Максимальное замедление ротора ТК
182	Ограничение максимального расхода топлива
183	Ограничение минимального расхода топлива
184	Ограничение максимального расхода топлива №1
185	Ограничение максимального расхода топлива №2
186	Ограничение минимального расхода топлива №1
187	Ограничение минимального расхода топлива №2
188	Заданное угловое положение НАК
189	Заданное угловое положение лопастей ВВ
190	Скорость изменения углового положения лопастей ВВ
191	Максимальная скорость изменения углового положения лопастей ВВ при вводе в реверс
192	Максимальная скорость изменения углового положения лопастей ВВ на режиме ТР
193	Максимальная скорость уменьшения углового положения лопастей ВВ на полетных режимах
194	Заданная частота вращения ВВ