



Новосибирский государственный технический университет  
Факультет летательных аппаратов, кафедра аэрогидродинамики

**КРАТКИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ<sup>1</sup>**  
**к выполнению расчётно-графической работы**  
на тему

**“Численное исследование динамики и безопасности полёта  
сверхзвукового пассажирского самолёта  
в сложных условиях”**

по курсу

**“Вычислительная динамика управляемого полёта”**  
для студентов, обучающихся по специальности  
**160702 (071300) – «Гидроаэродинамика»**

Группа: СА-51  
Февраль-июнь 2010 года

Бурдун И.Е., к.т.н.  
[ivan.burdun@mail.ru](mailto:ivan.burdun@mail.ru)

Новосибирск – 2010

---

<sup>1</sup> © 2007-2016, Бурдун И.Е.

# СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<b>1. ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>3</b>
<b>2. СОСТАВ ПРОГРАММНОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УЧЕБНОЙ СИСТЕМНОЙ МОДЕЛИ ПОЛЁТА .....</b>	<b>3</b>
2.1. Базовая математическая модель.....	3
2.2. Файловое обеспечение модели.....	4
2.3. Содержание папки Flying.....	5
2.4. Назначение файлов сценария вычислительного эксперимента.....	5
2.5. Структура папки Scenarios.....	6
<b>3. ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ ОСНОВНЫХ ФАЙЛОВ СЦЕНАРИЯ ПОЛЁТНОЙ СИТУАЦИИ .....</b>	<b>8</b>
3.1. Файл g100 «Описание файлов-носителей сценария вычислительного эксперимента» .....	8
3.2. Файл g101 «Начальные условия полёта» .....	9
3.3. Файл g102 “События полёта” .....	9
3.4. Файл g103 Описание процессов типа “процедуры управления” и “отказы подсистем” ЛА.....	9
3.5. Файл g104 Описание процессов типа “задачи пилотирования” .....	10
3.6. Файл g105 Описание процессов типа “наблюдатели состояния” ЛА для решения “задач пилотирования” .....	10
3.7. Файл g111 «Параметры численного интегрирования уравнений движения ЛА».....	11
3.8. Файл g121 «Словарь модельных переменных» .....	11
3.9. Файл g928 Описание процессов типа “ветровые возмущения” .....	12
3.10. Файл g950 Параметры процесса типа “ветровые возмущения” .....	12
3.11. Файл g959 Описание процессов типа “дождь” .....	12
3.12. Файл g961 Параметры процесса типа “дождь” .....	13
3.13. Файл g963 Списки параметров полёта (модельных переменных), выводимых в таблицы №№ 1, ..., 5 .....	13
3.14. Файл g964 Служебная информация, заносимая в журнал учета работы модели и файл X0ууу.INP .....	13
<b>4. ИНСТРУКЦИЯ ПО РАБОТЕ С ПРОГРАММОЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЁТА</b>	<b>14</b>
<b>5. ЗАДАНИЕ НА РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКУЮ РАБОТУ.....</b>	<b>16</b>
5.1. Общие рекомендации.....	16
5.2. Исследование влияния эксплуатационных факторов на динамику и безопасность полета самолёта .....	16
5.3. Распределение сценариев по студентам.....	18
5.4. Срок сдачи работы.....	19
5.5. Форма предоставления пояснительной записки .....	19
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>20</b>

# 1. ВВЕДЕНИЕ

Расчётно-графическая работа (РГР) на тему “Численное исследование динамики и безопасности полёта сверхзвукового пассажирского самолёта в сложных условиях” является частью учебного курса “Вычислительная динамика управляемого полёта” [1], который читается студентам группы СА-41 в рамках утверждённой рабочей программы.

Данная дисциплина рекомендована студентам, обучающимся по специальности 160702 (071300) – «Гидроаэродинамика» (на основе подготовки бакалавра по направлению 160100 (551000) – «Авиа- и ракетостроение»).

Основу курса составляет изучение теоретических основ и технологии реализации на ЭВМ обобщённой математической модели поведения системы “оператор (лётчик, автомат) – ЛА – эксплуатационная среда” – т.н. “системной модели”. Системная модель включает несколько взаимосвязанных моделей, описывающих ключевые свойства компонент системы, в том числе: аэродинамику и динамику полёта ЛА, тактику управления оператора (лётчика, автомата), влияние эксплуатационной среды.

Технология реализации системной модели на ЭВМ включает методы проведения вычислительного эксперимента, отображения, анализа и оценки сложных полётных ситуаций по критериям безопасности полёта.

Цель выполнения данной работы – прикладная. Ожидается, что в результате выполнения РГР студент приобретёт опыт применения современных методов математического моделирования и технологии вычислительного эксперимента для решения задач практической аэродинамики, динамики и безопасности полёта при сопровождении процессов разработки, испытаний и эксплуатации современных и перспективных типов ЛА.

## 2. СОСТАВ ПРОГРАММНОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УЧЕБНОЙ СИСТЕМНОЙ МОДЕЛИ ПОЛЁТА

### 2.1. Базовая математическая модель

Для выполнения РГР студентам рекомендуется использовать системную математическую модель полёта типа “оператор (лётчик, автомат) – ЛА – эксплуатационная среда”.

Данная модель реализована на ЭВМ при помощи программно-моделирующего комплекса анализа и оценки безопасности полёта VATES (v.5) и настроена на учебный проект перспективного сверхзвукового пассажирского самолёта II-го поколения – High Speed Civil Transport II или HSCT-2.

## 2.2. Файловое обеспечение модели

Системная модель и вспомогательное программное обеспечение передается на магнитных носителях информации в виде иерархической файловой структуры-папки под названием *Tutorial 01-02 CDCF* (рис. 1).

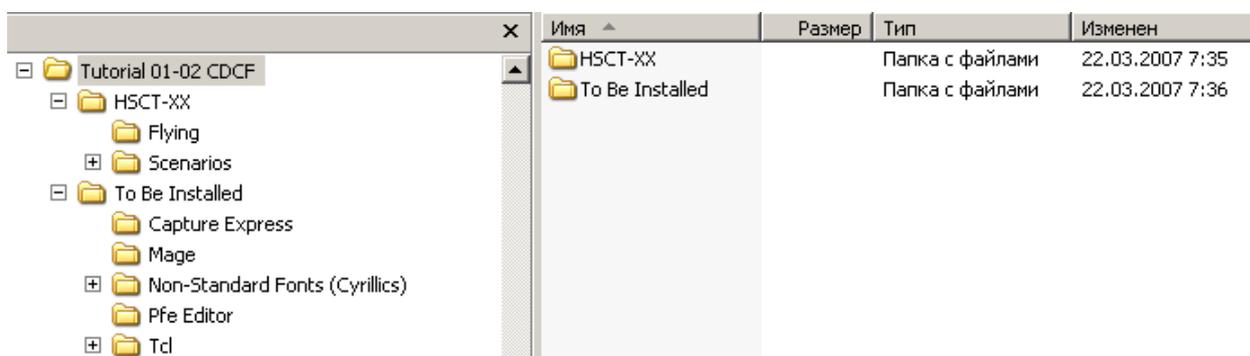


Рис. 1

Состав файловой структуры-папки *Tutorial 01-02 CDCF* представлен в табл. 1.

Таблица 1

Уровень структуры		Содержание
1	2	
HSCT-XX		Специальное программное обеспечение системной модели полёта, настроенной на учебный проект самолёта HSCT-2
	Flying	Рабочая папка (файлы с данными сценария моделируемой полётной ситуации и результатами вычислительного эксперимента)
	Scenarios	Библиотека сценариев полётных ситуаций
To Be Installed		Дополнительно устанавливаемое вспомогательное программное обеспечение типа "shareware" (свободного распространения)
	Capture Express	Программа "захвата" содержимого заданной области экрана монитора и представления его в виде графического файла
	Mage	Программа трёхмерной визуализации результатов моделирования (в РГР 2007 года не используется)
	Non-Standard Fonts	Нестандартные шрифты кириллицы для MS Windows

	(Cyrillics)	(необходимы для просмотра “электронных конспектов” некоторых лекций)
	Pfe Editor	Программа редактирования файлов сценария вычислительного эксперимента в формате ASCII)
	Tcl	Программа построения графиков изменения заданного набора параметров полёта во времени

### 2.3. Содержание папки Flying

Содержание папки Flying представлено на рис. 2.

Имя	Размер	Тип	Изменен
547	553 КБ	PostScript File	03.05.2007 6:11
fly	1 КБ	Пакетный файл MS-DOS	20.02.2006 16:34
g100	2 КБ	Файл	23.04.1999 15:43
g101	3 КБ	Файл	09.05.2004 15:49
g102	2 КБ	Файл	09.05.2004 15:46
g103	3 КБ	Файл	09.05.2004 15:46
g104	2 КБ	Файл	09.05.2004 15:23
g105	3 КБ	Файл	09.05.2004 15:50
G111	1 КБ	Файл	09.05.2004 11:10
g121	24 КБ	Файл	20.02.2006 16:21
g122	18 КБ	Файл	20.02.2006 16:21
g131	27 КБ	Файл	20.02.2006 16:20
g134	8 КБ	Файл	29.06.2006 10:50
g135	3 КБ	Файл	29.06.2006 12:20
G928	1 КБ	Файл	26.05.1998 11:25
G950	2 КБ	Файл	21.04.1999 14:54
G959	1 КБ	Файл	20.05.1998 9:21
G961	1 КБ	Файл	20.05.1998 9:55
g963	1 КБ	Файл	09.05.2004 15:38
g964	1 КБ	Файл	20.02.2006 16:31
hsct-xx	525 КБ	Приложение	17.08.2000 6:08
plot	1 КБ	Пакетный файл MS-DOS	09.05.2004 20:46
Plot	11 КБ	TclScript	20.02.2006 16:24
X0547	7 КБ	Файл "INP"	03.05.2007 6:11
X0547	32 КБ	Файл "OUT"	03.05.2007 6:11
X0547.HIS	47 КБ	Файл "HIS"	03.05.2007 6:11

Рис. 2

### 2.4. Назначение файлов сценария вычислительного эксперимента

Назначение файлов сценария вычислительного эксперимента, содержащихся в папке Flying, описывается в табл. 2.

Таблица 2

Имя и тип	Назначение
-----------	------------

файла	
Fly.bat	Командный файл запуска программы моделирования полёта самолёта HSCT-2
g100	Описание файлов-носителей сценария вычислительного эксперимента (головной файл сценария вычислительного эксперимента)
g101	Начальные условия полёта
g102	“События полёта”
g103	Описание процессов типа “процедуры управления” и “отказы подсистем” ЛА
g104	Описание процессов типа “задачи пилотирования”
g105	Описание процессов типа “наблюдатели состояния” ЛА для решения “задач пилотирования”
g111	Параметры численного интегрирования уравнений движения ЛА
g121	Словарь модельных переменных
g122	“Константы” модели полёта самолёта HSCT-2
g131	“Параметрическое определение” (входные характеристики) модели полёта самолёта HSCT-2
g134	Описание таблиц входных характеристик модели аэродинамики и динамики полёта самолёта HSCT-2
g135	Описание аргументов таблиц входных характеристик модели аэродинамики и динамики полёта самолёта HSCT-2
g928	Описание процессов типа “ветровые возмущения”
g950	Параметры процесса типа “ветровые возмущения”
g961	Параметры процесса типа “дождь”
g963	Списки параметров полёта (модельных переменных), выводимых в таблицы №№ 1, ..., 5
g964	Служебная информация, заносимая в журнал учета работы модели и файл X0ууу.INP
Hsct-xx.exe	Программа, реализующая системную модель полёта самолёта HSCT-2
Hsct-xx	Журнал учёта работы системной модели
Plot.bat	Командный файл запуска программы построения графиков полёта
Plot.tcl	Программа построения графиков полёта на языке Tcl
Work	Рабочий файл
100	Рабочий файл
TABLE0	Таблица №1 с результатами вычислительного эксперимента
TABLE1	Таблица №2 с результатами вычислительного эксперимента
TABLE2	Таблица №3 с результатами вычислительного эксперимента
TABLE3	Таблица №4 с результатами вычислительного эксперимента
TABLE4	Таблица №5 с результатами вычислительного эксперимента
TEMP	Рабочий файл
X0ууу.HIS	Протокол реализации сценария полётной ситуации (“полёта”) № ууу
X0ууу.INP	Копия входных файлов сценария полётной ситуации (“полёта”) № ууу
X0ууу.OUT	Копия таблицы №1 с результатами вычислительного эксперимента для полётной ситуации (“полёта”) № ууу
ууу.PS	Выходной файл типа PostScript с графиками полётной ситуации (“полёта”) № ууу

## 2.5. Структура папки Scenarios

Структура папки Scenarios показана на рис. 3 и описывается в табл. 3.

Имя	Размер	Тип	Изменен
00. Flying Directory Backup Copy		Папка с файлами	22.03.2007 7:35
01. Normal takeoff		Папка с файлами	22.03.2007 7:35
02. Takeoff under windshear		Папка с файлами	22.03.2007 7:35
03. Takeoff with critical engine #1 out at VR		Папка с файлами	22.03.2007 7:35
04. Takeoff under windshear with one engine out		Папка с файлами	22.03.2007 7:35
05. Takeoff with two engines (## 1, 2) out		Папка с файлами	22.03.2007 7:35
06. Concorde like accident at takeoff		Папка с файлами	22.03.2007 7:35
07. Pulse by elevator (full picture)		Папка с файлами	22.03.2007 7:35
08. Elevator ramp		Папка с файлами	22.03.2007 7:35
09. Level, pitch step (12-15 deg) and 15 deg turn		Папка с файлами	22.03.2007 7:35
10. Pulses by ailerons. M=0.3		Папка с файлами	22.03.2007 7:35
11. Landing approach and go-around		Папка с файлами	22.03.2007 7:35
12. Landing approach, go-around and one engine out		Папка с файлами	22.03.2007 7:35
13. Normal landing		Папка с файлами	22.03.2007 7:35
14. Continued landing (one engine out)		Папка с файлами	22.03.2007 7:35
15. Landing under windshear		Папка с файлами	22.03.2007 7:35

Таблица 3

Имя папки	Назначение файлов (сценарий полёта)
00. Flying Directory Backup Copy	Страховочная копия рабочей папки <i>flying</i>
01. Normal takeoff	Взлёт нормальный
02. Takeoff under windshear	Взлёт нормальный в условиях сдвига ветра
03. Takeoff with critical engine #1 out at VR	Взлёт продолженный с отказом двигателя №1 на скорости отрыва носовой стойки от ВПП (скорости VR)
04. Takeoff under windshear with one engine out	Взлёт продолженный в условиях сдвига ветра с отказом двигателя
05. Takeoff with two engines (## 1, 2) out	Взлёт продолженный с отказом двух двигателей №№ 1, 2
06. Concorde like accident at takeoff	Взлёт с имитацией ситуации катастрофы самолёта “Concorde”
07. Pulse by elevator (full picture)	Отклонение (дача) руля высоты типа “импульс”
08. Elevator ramp	Отклонение (дача) руля высоты типа “ступенька”
09. Level, pitch step (12-15 deg) and 15 deg turn	Квази-горизонтальный полёт, программа изменения заданного угла тангажа с 12 до 15 градусов и разворот с креном 15 градусов
10. Pulses by ailerons. M=0.3	Отклонения (дачи) элеронов типа “импульс”
11. Landing approach and go-around	Заход на посадку и уход на второй круг
12. Landing approach, go-around and one engine out	Заход на посадку и уход на второй круг с одним отказавшим двигателем
13. Normal landing	Посадка нормальная
14. Continued landing (one engine out)	Посадка продолженная с одним отказавшим двигателем
15. Landing under windshear	Посадка нормальная в условиях сдвига ветра

Каждая папка из таблицы 3, начиная с папки “01. ...” и заканчивая папкой “15. ...”, содержит подмножество файлов сценария вычислительного

эксперимента (файлы g\*), которые необходимо заменить в рабочей папке *flying*, чтобы настроить системную модель на соответствующую полётную ситуацию.

Кроме того, в этих папках содержатся примеры файлов X0ууу.INP (копия входных файлов сценария полётной ситуации) и X0ууу.OUT (копия таблицы №1 с результатами вычислительного эксперимента для полётной ситуации) для контроля.

Порядковые номера “полётов” ууу могут быть произвольными и могут не совпадать с теми номерами, которые получаются в результате выполнения РГР.

### **3. ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ ОСНОВНЫХ ФАЙЛОВ СЦЕНАРИЯ ПОЛЁТНОЙ СИТУАЦИИ**

В данном разделе для справки описывается структура основных файлов-носителей параметров сценария полёта:

Файл	g100	Описание файлов-носителей сценария вычислительного эксперимента (головной файл сценария вычислительного эксперимента)
Файл	g101	Начальные условия полёта
Файл	g102	“События полёта”
Файл	g103	Описание процессов типа “процедуры управления” и “отказы подсистем” ЛА
Файл	g104	Описание процессов типа “задачи пилотирования”
Файл	g105	Описание процессов типа “наблюдатели состояния” ЛА для решения “задач пилотирования”
Файл	g111	Параметры численного интегрирования уравнений движения ЛА
Файл	g121	Словарь модельных переменных
Файл	g928	Описание процессов типа “ветровые возмущения”
Файл	g950	Параметры процесса типа “ветровые возмущения”
Файл	g959	Описание процессов типа “дождь”
Файл	g961	Параметры процесса типа “дождь”
Файл	g963	Списки параметров полёта (модельных переменных), выводимых в таблицы №№ 1, ..., 5
Файл	g964	Служебная информация, заносимая в журнал учета работы модели и файл X0ууу.INP

Примечание: порядковые номера столбцов данных в таблицах ниже соответствуют номерам, которые указаны в заголовке файла gzzz.

#### **3.1. Файл g100 «Описание файлов-носителей сценария вычислительного эксперимента»**

Это головной файл сценария вычислительного эксперимента.

№ столбца данных	Содержание (назначение)
1	Порядковый номер (фиксированные данные)
2	Наименование компоненты сценария вычислительного эксперимента (фиксированные данные)
3	Код zzz файла-носителя входных данных сценария с именем gzzz

### 3.2. Файл g101 «Начальные условия полёта»

№ столбца данных	Содержание (назначение)
1	Код модельной переменной (компоненты вектора состояния $x$ ) из файла g121
2	Имя модельной переменной (произвольные данные)
3	Резервные данные
4	Резервные данные
5	Резервные данные
6	Значение модельной переменной в начальный момент времени
7	Единица измерения модельной переменной (должна совпадать с единицей измерения переменной, указанной в файле g121)

### 3.3. Файл g102 “События полёта”

№ столбца данных	Содержание (назначение)
1	Код события (любое уникальное – в данном сценарии – целое число в формате $xx$ )
2	Код события-условия
3	Имя события
4, ..., 7	Вектор кодов модельных переменных из g121, значения которых будут запоминаться в момент времени наступления события
8	Код модельной переменной из g121 в критерии распознавания события
9	Тип логического отношения в критерии распознавания события
10	Правая часть критерия распознавания события
11	Резерв
12	Запаздывание наступления события в системной модели после “срабатывания” критерия его распознавания

### 3.4. Файл g103 Описание процессов типа “процедуры управления” и “отказы подсистем” ЛА

№ столбца данных	Содержание (назначение)
1	Код процесса: любое уникальное – в данном сценарии – целое число

2	Код начального события (открывающего процесс): любое уникальное – в данном сценарии – целое число в формате xx из файла g102
3	Код конечного события (закрывающего процесс): любое уникальное – в данном сценарии – целое число в формате xx, не равное коду начального события, из файла g102
4	Приоритет процесса
5	Имя процесса
6	Способ задания цели процесса (ABS – абсолютное значение, REL – относительное значение (по отношению к значению модельной переменной в момент наступления начального события процесса), THR - процедура типа “регулирование скорости полёта”)
7, ..., 10	Вектор кодов от 1 до 4 переменных управления из файла g121, которые реализуют процесс в модели
11	Цель процесса (целевое значение вектора управления)
12, 13	Параметры настройки процесса типа THR (фиксированные данные)

### 3.5. Файл g104 Описание процессов типа “задачи пилотирования”

№ столбца данных	Содержание (назначение)
1	Код процесса типа “задачи пилотирования”
2	Код начального события (открывающего процесс): любое уникальное – в данном сценарии – целое число в формате xx из файла g102
3	Код конечного события (закрывающего процесс): любое уникальное – в данном сценарии – целое число в формате xx, не равное коду начального события, из файла g102
4	Приоритет процесса
5	Имя процесса
6, ..., 9	Вектор кодов от 1 до 4 переменных управления из файла g121, которые реализуют процесс в модели
10, ..., 13	Вектор шагов вмешательства в управление по переменным управления (фиксированные данные)

### 3.6. Файл g105 Описание процессов типа “наблюдатели состояния” ЛА для решения “задач пилотирования”

№ столбца данных	Содержание (назначение)
1	Код задачи пилотирования, в которой используются “элементарный наблюдатель”, из файла g104
2	Код переменной управления из файла g104, для которой строится процесс наблюдения состояния ЛА
3	Код наблюдаемой переменной состояния из файла g121, по которой осуществляется наблюдение состояния ЛА
4	Имя переменной состояния, по которой осуществляется наблюдение состояния ЛА (произвольные данные)
5, 6	Резерв
7	Целевое значение наблюдаемой переменной состояния (цель задачи)

	пилотирования)
8	Коэффициент усиления сигнала рассогласования между текущим и целевым значениями переменной состояния Правая часть критерия распознавания события (фиксированные данные)
9	Величина ошибки рассогласования, при которой она начинает учитываться при формировании закона управления
10	Величина рассогласования, при которой она прекращает учитываться при формировании закона управления
11	Шаг оценки текущих значений наблюдаемой переменной и расчёта величины рассогласования

### 3.7. Файл g111 «Параметры численного интегрирования уравнений движения ЛА»

№ столбца данных	Содержание (назначение)
3	Шаг численного интегрирования уравнений движения, с
6	Максимально допустимая погрешность алгоритма численного интегрирования, %

### 3.8. Файл g121 «Словарь модельных переменных»

№ столбца данных	Содержание (назначение)
1	Код модельной переменной (порядковый номер компоненты в векторе $x$ ), фиксированные данные
2, 3	Левая и правая границы изменения значений переменной на графиках
4	Имя модельной переменной (фиксированные данные)
5	Единица измерения модельной переменной (фиксированные данные)
6	Определение

Коды подмножества основных модельных переменных, выводимых на графики, представлены ниже (см. также файл g963):

186	Высота полёта по нижней кромке колес основных стоек шасси	H/wheels
77	Приборная скорость	IAS
32	Вертикальная скорость	vert*(e)
1	Угол атаки	AoA
14	Угол тангажа	pitch
3	Отклонение руля высоты	elevator
25	Положение закрылков	flaps
34	Угол пути	heading
2	Число Маха	Mach
36	Нормальная перегрузка	g_factor
4	Отклонение элеронов	aileronR
12	Угол крена	bank
10	Отклонение руля направления	rudder

11	Угол скольжения	sideslip
89	Положение шасси	Kgear
35	Продольная перегрузка	long.acc
63	Положение р.у.д. левого крайнего двигателя	thrott1
64	Положение р.у.д. левого внутреннего двигателя	thrott12
21	Боковой увод от осевой линии ВПП	east
76	Угол наклона траектории	path

### 3.9. Файл g928 Описание процессов типа “ветровые возмущения”

№ столбца данных	Содержание (назначение)
1	Код процесса типа “ветровые возмущения”
2	Имя процесса
3	Код начального события (открывающего процесс): любое уникальное – в данном сценарии – целое число в формате xx из файла g102
4	Код конечного события (закрывающего процесс): любое уникальное – в данном сценарии – целое число в формате xx, не равное коду начального события, из файла g102
5	Код аргумента в табличной зависимости составляющих скорости ветра
6	Код zzz файла gzzz, в котором содержится таблица значений зависимости трёх составляющих скорости ветра от заданного выше аргумента
7	Номер первой используемой строки из файла gzzz
8	Номер последней используемой строки из файла gzzz
9	Количество узлов в табличной зависимости трёх составляющих скорости ветра от заданного аргумента

### 3.10. Файл g950 Параметры процесса типа “ветровые возмущения”

№ столбца данных	Содержание (назначение)
1	Значение аргумента, заданного в файле g928
2	Значение горизонтальной составляющей скорости ветра, м/с
3	Значение вертикальной составляющей скорости ветра, м/с
4	Значение боковой составляющей скорости ветра, м/с

### 3.11. Файл g959 Описание процессов типа “дождь”

№ столбца данных	Содержание (назначение)
1	Код процесса типа “дождь”
2	Имя процесса
3	Код начального события (открывающего процесс): любое уникальное – в данном сценарии – целое число в формате xx из файла g102
4	Код конечного события (закрывающего процесс): любое уникальное – в данном сценарии – целое число в формате xx, не равное коду начального события, из файла g102

5	Код zzz файла gzzz, в котором содержится таблица значений зависимости интенсивности дождя от заданного выше аргумента
6	Номер первой используемой строки из файла gzzz
7	Номер последней используемой строки из файла gzzz
8	Код аргумента в табличной зависимости интенсивности дождя
9	Количество узлов в табличной зависимости интенсивности дождя от заданного аргумента
10	Резерв
11	Резерв

### 3.12. Файл g961 Параметры процесса типа “дождь”

№ столбца данных	Содержание (назначение)
1	Значение аргумента, заданного в файле g959
2	Значение интенсивности дождя, мм/час

### 3.13. Файл g963 Списки параметров полёта (модельных переменных), выводимых в таблицы №№ 1, ..., 5

№ столбца данных	Содержание (назначение)
1, ..., 20 (строка №1)	Вектор кодов модельных переменных из файла g121, значения которых будут выводиться в файл-таблицу TABLE0 и на графики
1, ..., 20 (строка №2)	Вектор кодов модельных переменных из файла g121, значения которых будут выводиться в файл-таблицу TABLE1
1, ..., 20 (строка №3)	Вектор кодов модельных переменных из файла g121, значения которых будут выводиться в файл-таблицу TABLE2
1, ..., 20 (строка №4)	Вектор кодов модельных переменных из файла g121, значения которых будут выводиться в файл-таблицу TABLE3
1, ..., 20 (строка №5)	Вектор кодов модельных переменных из файла g121, значения которых будут выводиться в файл-таблицу TABLE4

### 3.14. Файл g964 Служебная информация, заносимая в журнал учета работы модели и файл X0ууу.INP

№ столбца данных	Содержание (назначение)
Строка №1	Код типа ЛА для вывода в журнал, в таблицы и на графики
Строка №2	Название полётной ситуации (сценария) для вывода в журнал, в таблицы и на графики
Строка №3	Список имен файлов входных данных сценария вычислительного эксперимента, которые будут занесены в файл

## 4. ИНСТРУКЦИЯ ПО РАБОТЕ С ПРОГРАММОЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЁТА

- 1) Находясь в рабочей папке Flying, из окна “проводника” файловой системы MS Windows запустите на выполнение командный файл fly.bat.
- 2) В окне MS-DOS должна появиться развертка сценария моделируемой полётной ситуации во времени (см. фрагменты окна MS-DOS ниже):

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
del *.dat

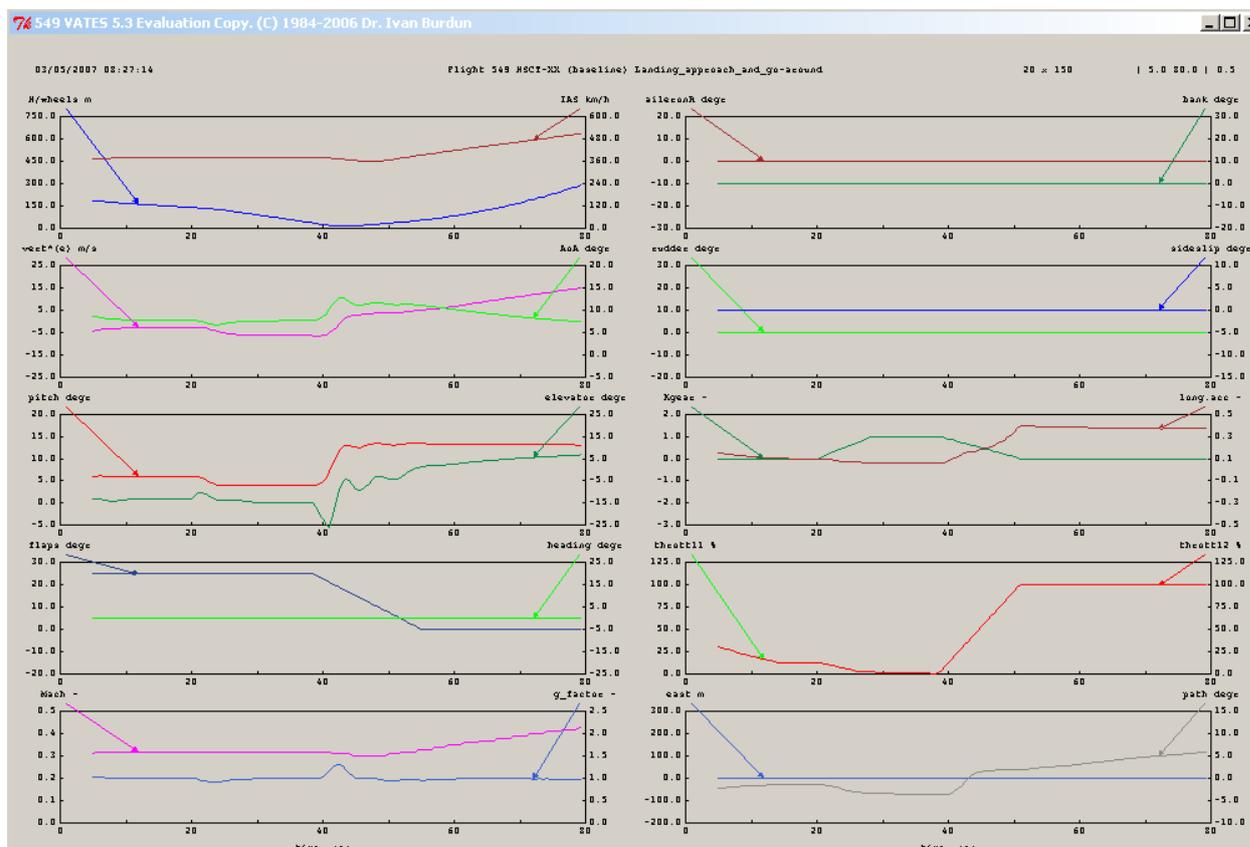
D:\1\HFTY\Computational Flight Dynamics 2007\Tutorial 01-02 CDCF\HSCT-XX\Flying>
hsct-xx.exe 100
Autonomous Flight Simulation Model, Version 5.2(s)
Copyright (c) Dr. Ivan Y. Burdun 1984-1996. All rights reserved
ATLAS: end of reading file #100 "Landing normal" 18 0 0 17
ATLAS: end of reading file #964 "logbook information" 0 0 10 3

-----
549 03/05/2007 08:27:14 HSCT-XX (baseline) Landing_approach_and_go-around
-----
ATLAS: end of reading file #121 "HSCT'XX model variables" 1 2 2 300
ATLAS: end of reading file #101 "initial conditions" 9 1 1 22
ATLAS: end of reading file #102 "flight events" 17 3 0 13
ATLAS: end of reading file #122 "HSCT-XX model constants" 10 1 1 372
ATLAS: end of reading file #131 "HSCT-XX characteristics" 0 10 0 217
ATLAS: end of reading file #104 "piloting tasks" 16 4 0 3
ATLAS: end of reading file #103 "procedures & failures" 17 3 0 7
ATLAS: end of reading file #105 "system state observers" 10 5 0 24
ATLAS: end of reading file #134 "characteristics spec." 12 0 0 76
ATLAS: end of reading file #135 "arguments specif." 6 10 0 21
ATLAS: end of reading file #111 "integration algorithm" 5 7 0 1
ATLAS: end of reading file #963 "output specification" 20 0 0 5
IDENTITY: Programs are not defined. Module is not used.
```

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
.....
time ==> 20.15 sec
PROCON: Control procedure 3 "wheels - down" (ABS)
will start in .0 sec
Control vector:
Kgear
.000
.....
time ==> 28.55 sec
PROCON: control procedure 3 "wheels - down" is closed
Control vector:
89
Kgear
1.000
.....
t i m e ==> 38.52 sec.
EVEREC: flight event # 20 " go-around decision " is recognized.
stabiliz ... -15.00 degr elevator ... -14.64 degr
rudder ... .00 degr aileronR ... .00 degr
.....
time ==> 38.52 sec
PILOT: Closure of piloting task 2 (" keep glideslope")
due to the recognition of target event # 20
.....
time ==> 38.52 sec
```

- 3) После окончания вычислительного эксперимента (через 1-3 с после ввода команды fly.bat) на экране монитора должно появиться окно с

графиками изменения заданного набора параметров полёта во времени – модельных переменных (см. файл g963, первая строка):



- 4) Номер “полёта” будет автоматически увеличен на единицу, и в журнал учета вычислительного эксперимента будет занесена запись об окончании эксперимента.
- 5) В рабочей папке flying появятся файлы выходных данных вычислительного эксперимента (“полёта” № ууу):

X0ууу.HIS	Протокол реализации сценария полётной ситуации (“полёта”) № ууу
X0ууу.INP	Копия входных файлов сценария полётной ситуации (“полёта”) № ууу
X0ууу.OUT	Копия таблицы №1 с результатами вычислительного эксперимента для полётной ситуации (“полёта”) № ууу
ууу.PS	Выходной файл типа PostScript с графиками полётной ситуации (“полёта”) № ууу

- 6) Изучите содержимое выходных файлов и графиков в соответствии с заданием.
- 7) Чтобы изменить сценарий полётной ситуации, внесите соответствующие изменения в файлы входных данных  $g^*$ , пользуясь описанием из раздела 2. Не забывайте сохранять новое состояние файлов на диске. Перейдите к шагу (1).

- 8) Если необходимо смоделировать новый сценарий из библиотеки, скопируйте все файлы типа  $g^*$  из соответствующего раздела библиотеки (папки *Scenarios*) в рабочую папку *Flying* в режиме замещения файлов.

## 5. ЗАДАНИЕ НА РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКУЮ РАБОТУ

### 5.1. Общие рекомендации

- (1) Смоделируйте заданные сценарии полёта самолёта HSCT-2 из библиотеки *Scenarios*.
- (2) Задokumentируйте результаты вычислительных экспериментов, используя следующую примерную последовательность и формы описания:
- название полётной ситуации;
  - цель вычислительного эксперимента;
  - исходные данные;
  - варьируемые параметры (эксплуатационные факторы);
  - план вычислительного эксперимента;
  - граф сценария полётной ситуации;
  - словесное (качественное) описание особенностей протекания полётной ситуации (полётных ситуаций);
  - таблицы выходных данных “полёта” (TABLE0);
  - графики “полёта”;
  - протокол реализации сценария “полёта”;
  - зависимости влияния заданных эксплуатационных факторов на ключевые параметры полёта (в виде таблиц, графиков и (или) гистограмм);
  - краткий анализ результатов;
  - выводы и рекомендации по пилотированию или проектированию ЛА.

### 5.2. Исследование влияния эксплуатационных факторов на динамику и безопасность полета самолёта

Примечание: влияние заданных эксплуатационных факторов должно исследоваться независимо друг от друга, если не оговорено особо.

План исследования влияния эксплуатационных факторов на динамику и безопасность полета для сценариев полётных ситуаций из библиотеки приводится в таблице 4.

Таблица 4

№	Варьируемые эксплуатационные факторы и (или) другие параметры сценария	Диапазон вариаций фактора	Шаг вариаций фактора	Ключевой параметр	Изменяемый файл входных данных гууу, ууу
1	Положение р.у.д. №№ 1-4 на взлёте	от 80 до 100 градусов	5	Высота, скорость	101
1a	Положение р.у.д. №№ 1-4 при уходе на второй круг	от 80 до 100 градусов	5	Высота, скорость	103
2	Центровка	от 0.28 до 0.36	0.02	Высота, скорость	101
3	Высота уборки закрылков	от 100 до 400 м	50	Высота, скорость	102
4	Положение закрылков после уборки	от 0 до 15 градусов	5	Высота, скорость	103
5	Отклонение руля высоты	от -15 до -5 градусов	5	Тангаж, взлётная дистанция	103
6	Высота уборки шасси	от 10 до 85 м	15	Высота, скорость	102
7	Заданный угол тангажа после отрыва от ВПП (задачи пилотирования 1, 3)	От 6 до 18 градусов	2	Высота, скорость, угол атаки	105
8	Заданный угол крена после отрыва от ВПП (задача пилотирования 3)	От 0 до 60 градусов	10	Высота, скорость, угол атаки, вертикальная скорость, угол крена	105
9	Интенсивность сдвига ветра (множитель при составляющих скорости)	От 0.5 до 1.5	0.5	Высота, скорость, угол атаки, вертикальная скорость	950
10	Приборная скорость ввода отказа двигателя №1 (ввести для этого новое открывающее событие №22 вместо события №2; событие №2 оставить)	От 260 до 360 км/час	20	Взлётная дистанция, высота, скорость, угол атаки, вертикальная скорость	102
11	Высота ввода отказа двигателя №2 (событие №5)	От 0 до 200 м	40	Взлётная дистанция, высота, скорость, угол атаки, вертикальная скорость	102
12	Импульс рулем высоты	От -5 до -20 градусов и от +5 до +20	5	Угол тангажа, высота, скорость, угол	103

№	Варьируемые эксплуатационные факторы и (или) другие параметры сценария	Диапазон вариаций фактора	Шаг вариаций фактора	Ключевой параметр	Изменяемый файл входных данных гууу, ууу
		градусов		атаки	
13	Высота ухода на второй круг	От 10 до 40 м	5	высота, скорость, угол атаки, вертикальная скорость	102
14	Запаздывание момента времени увеличения тяги двигателей после отказа двигателя № 1	От 0 до 10 с	2	высота, скорость, угол атаки, вертикальная скорость	103
15	Ступенька рулем высоты	От -2 до -10 градусов	2	Угол тангажа, высота, скорость, угол атаки	103
16	Приборная скорость полета	От 300 до 400 км/час	20	высота, скорость, угол атаки, вертикальная скорость	103
17	Отклонение руля высоты при уходе на второй круг	от -15 до -5 градусов	5	высота, скорость, угол атаки, вертикальная скорость	103
18	Уровень тяги двигателей при уходе на второй круг	от 100% до 60%	10	высота, скорость, угол атаки, вертикальная скорость	103
19	Высота дросселирования тяги двигателей на посадке	От 16 до 6 м	2	высота, скорость, угол атаки, вертикальная скорость	102

### 5.3. Распределение сценариев по студентам

Распределение сценариев по студентам для исследования даётся в таблице 5.

Таблица 5

Папка	Сценарий	Фамилия (№) студента	№№ факторов для исследования из табл. 4
01. Normal takeoff	Взлёт нормальный		1, 2
02. Takeoff under windshear	Взлёт нормальный в условиях сдвига ветра		9, 7
03. Takeoff with critical	Взлёт продолженный с отказом		7, 1

Папка	Сценарий	Фамилия (№) студента	№№ факторов для исследования из табл. 4
engine #1 out at VR	двигателя №1 на скорости отрыва носовой стойки от ВПП (скорости VR)		
04. Takeoff under windshear with one engine out	Взлёт продолженный в условиях сдвига ветра с отказом двигателя		8, 2
05. Takeoff with two engines (## 1, 2) out	Взлёт продолженный с отказом двух двигателей №№ 1, 2		11, 8
06. Concorde like accident at takeoff	Взлёт с имитацией ситуации катастрофы самолёта “Concorde”		
07. Pulse by elevator (full picture)	Отклонение (дача) руля высоты типа “импульс”		12, 7
08. Elevator ramp	Отклонение (дача) руля высоты типа “ступенька”		16, 12
09. Level, pitch step (12-15 deg) and 15 deg turn	Квази-горизонтальный полёт, программа изменения заданного угла тангажа с 12 до 15 градусов и разворот с креном 15 градусов		8, 16
10. Pulses by ailerons. M=0.3	Отклонения (дачи) элеронов типа “импульс”		16, 8
11. Landing approach and go-around	Заход на посадку и уход на второй круг		17, 1
12. Landing approach, go-around and one engine out	Заход на посадку и уход на второй круг с одним отказавшим двигателем		16 13
13. Normal landing	Посадка нормальная		2, 19
14. Continued landing (one engine out)	Посадка продолженная с одним отказавшим двигателем		
15. Landing under windshear	Посадка нормальная в условиях сдвига ветра		

#### 5.4. Срок сдачи работы

16-я учебная неделя.

#### 5.5. Форма предоставления пояснительной записки

Электронная или бумажная.

Работы, представляемые в электронном формате, можно направлять на проверку по электронной почте: [ivan.burdun@mail.ru](mailto:ivan.burdun@mail.ru).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

[1] Бурдун И.Е., Рабочая программа по дисциплине «Вычислительная динамика управляемого полёта» для студентов, обучающихся по специальности 160702 (071300) – «Гидроаэродинамика» (на основе подготовки бакалавра по направлению 160100 (551000) – «Авиа- и ракетостроение»), факультет летательных аппаратов, кафедра «Аэрогидродинамика», Новосибирский Государственный Технический Университет, 2006 год, 14 с.

[2] Бурдун И.Е., Спецкурс «Вычислительная динамика управляемого полёта», кафедра аэрогидродинамики, факультет летательных аппаратов, Новосибирский государственный технический университет, 2006-2009 учебный год (электронный конспект лекций), Новосибирск, 2009 год.

[3] Burdun, I.Y., DeLaurentis, D.A., Mavris, D.N., «Modeling and Simulation of Airworthiness Requirements for an HSCT Prototype in Early Design» (Paper AIAA-98-4936), *Seventh AIAA/USAF/ NASA/ ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, September 2-4, 1998*, St. Louis, USA, 10 pp.

[4] Burdun, I.Y., Mavris, D.N., and Sannikov, V.A. «A Generic Mathematical Model of Groundroll Motion of a High Speed Transport Airplane» (Paper AIAA-98-4937), *Proc. of the Seventh AIAA/USAF/NASA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, September 2-4, 1998*, St. Louis, USA, 1998, 10 pp.

[5] Burdun, I.Y., “Virtual Autonomous Test and Evaluation Simulator (VATES), Academic Versions 5.3 and 6.0 (Fixed- and Rotary-Wing Aircraft)”, User’s Manual, 2<sup>nd</sup> Edition, 2000, USA, 101 pp.