

**Исследование динамики и безопасности поведения системы
“лётчик – самолёт Ту-134А – эксплуатационная среда” в
ситуациях, близких к инциденту «Взлёт с отказом левого двигателя
при достижении скорости V_R », методами ситуационного
моделирования и вычислительного эксперимента**

Часть 2

“Микроструктурный” анализ ситуаций продолженного взлёта.
Контрольная серия вычислительного эксперимента (продолжение) -
оценка влияния вариаций тяги {100%; ...; 80%} и программы заданного
угла тангажа после отрыва {5°; 6°; 7°; 9°→(5°, 6°, 7°); 8°→5°}

(предварительные результаты)

Бурдун И.Е.
ООО «ИНТЕЛОНИКА»

25 декабря 2006 года, г. Новосибирск
Тел.: 8 (961) 977 32 89. Факс: 8 (383) 266 20 92
E-mail: ivan.burdun@mail.ru

Программа контрольной серии вычислительного эксперимента (продолжение)

Моделирование семейств ситуаций продолженного взлёта при вариациях располагаемой взлётной тяги от 100 до 80% и программы заданного угла тангажа после отрыва $\{5^\circ; 6^\circ; 7^\circ; 9^\circ \rightarrow (5^\circ, 6^\circ, 7^\circ); 8^\circ \rightarrow 5^\circ\}$:

Семейство ситуаций		Целевое (заданное) значение угла тангажа после отрыва, $\mathcal{G}_{зад}^o$	Располагаемая взлётная тяга, $\bar{P}, \%$
№	№№ ситуаций-составляющих		
3	{80/7, 82/7, ..., 100/7}	7	{80, 82, ..., 100}
4	{80/6, 82/6, ..., 100/6}	6	{80, 82, ..., 100}
5	{90/5, 92/5, ..., 100/5}	5	{90, 92, ..., 100}
6	{80/9 \rightarrow 5, ..., 100/9 \rightarrow 5}	9 \rightarrow 5	{80, 82, ..., 100}
7	{80/9 \rightarrow 6, ..., 100/9 \rightarrow 6}	9 \rightarrow 6	{80, 82, ..., 100}
8	{80/9 \rightarrow 7, ..., 100/9 \rightarrow 7}	9 \rightarrow 7	{80, 82, ..., 100}
9	{80/8 \rightarrow 5, ..., 100/8 \rightarrow 5}	8 \rightarrow 5	{80, 82, ..., 100}

Начальные условия и сценарий ситуации продолженного взлёта

1. Начальные условия. См. Часть 1.

2. Сценарий ситуации. См. Часть 1.

3. Примечание. Для семейств ситуаций со двухступенчатой программой заданного угла тангажа:

$$\bar{P} \in \{80, \dots, 100\}; \mathcal{G}_{зад}^o = (9^\circ \rightarrow 5^\circ), (9^\circ \rightarrow 6^\circ), (9^\circ \rightarrow 7^\circ), (8^\circ \rightarrow 5^\circ),$$

- вводится следующая модификация сценария управления после отрыва самолёта от ВПП.

1. В фазе начального набора высоты, сразу после отрыва, заданный угол тангажа задаётся и выдерживается на уровне 9° .

2. Затем, через 5 секунд после достижения угла тангажа 8° , заданный угол тангажа уменьшается и устанавливается равным 5° , 6° или 7° , соответственно, - в зависимости от семейства ситуаций.

Цель двухступенчатой программы изменения заданного угла тангажа:

– демонстрация высокой чувствительности несущих свойств самолёта к потере располагаемой тяги в момент достижения скорости V_R и величине заданного угла тангажа при начальном наборе высоты;

– поиск безопасного баланса между кинетической и потенциальной энергией самолёта в процессе отхода от ВПП при отказе двигателя в момент V_R .

Параметры полёта, отображаемые на графиках

H , м – высота по нижней кромке основных колес

$V_{пр}$, км/ч – приборная скорость

n_x – продольная перегрузка

n_y – нормальная перегрузка

$V_{уг}$, м/с – вертикальная скорость

α° – угол атаки

$\delta_{руд1}$ – положение р.у.д. №1

P_1 , kN – тяга левого двигателя

ϑ° – угол тангажа

δ_B° – угол отклонения руля высоты

$s_{аморт.1}$, М – обжатие амортизатора носовой стойки

$s_{аморт.2}$, М – обжатие амортизатора правой стойки

γ° – угол крена

δ_ϑ° – угол отклонения элеронов

n_z – боковая перегрузка

$\omega_z^{o/c}$ – угловая скорость тангажа

β° – угол скольжения

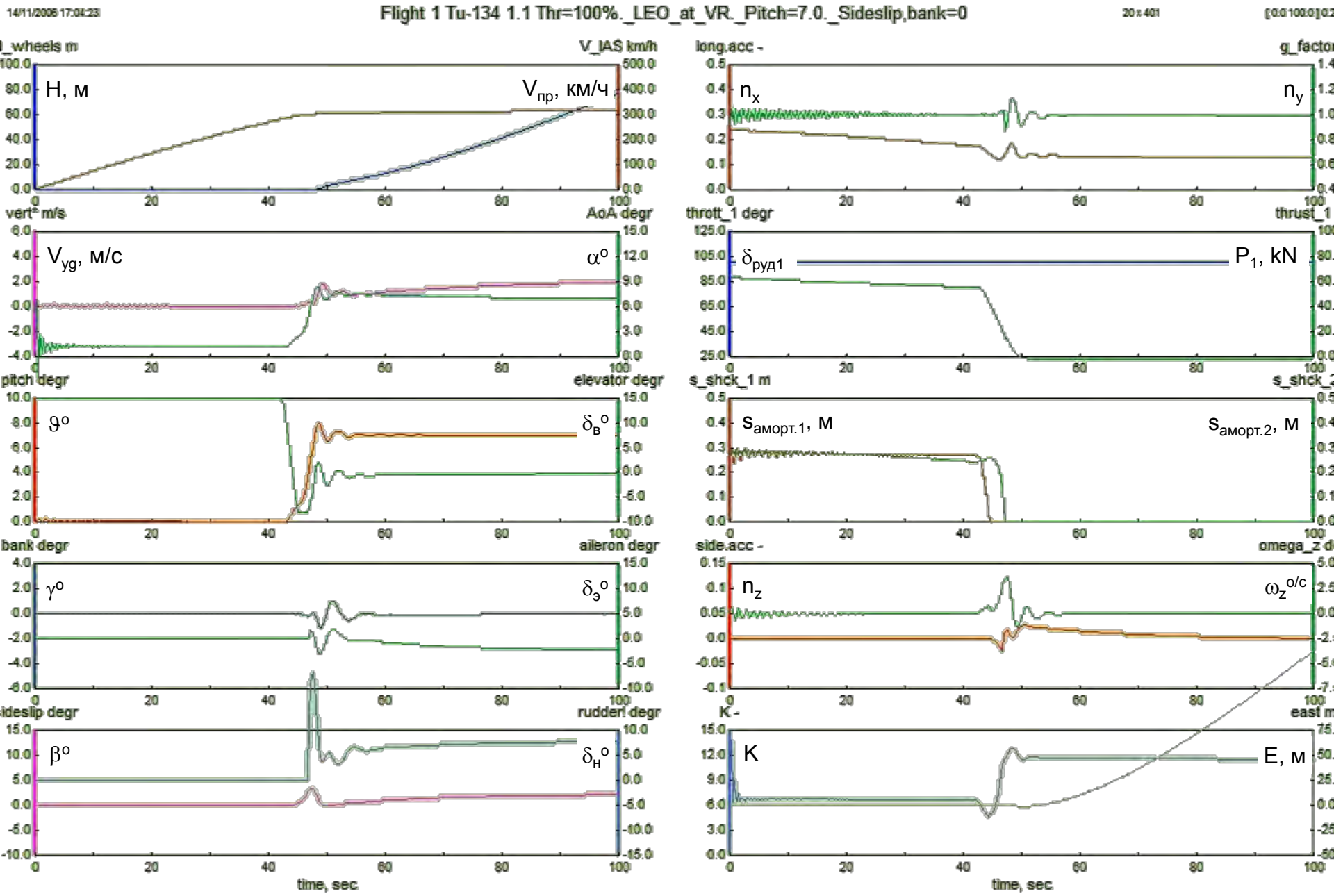
δ_H° – угол отклонения руля направления

K – аэродинамическое качество

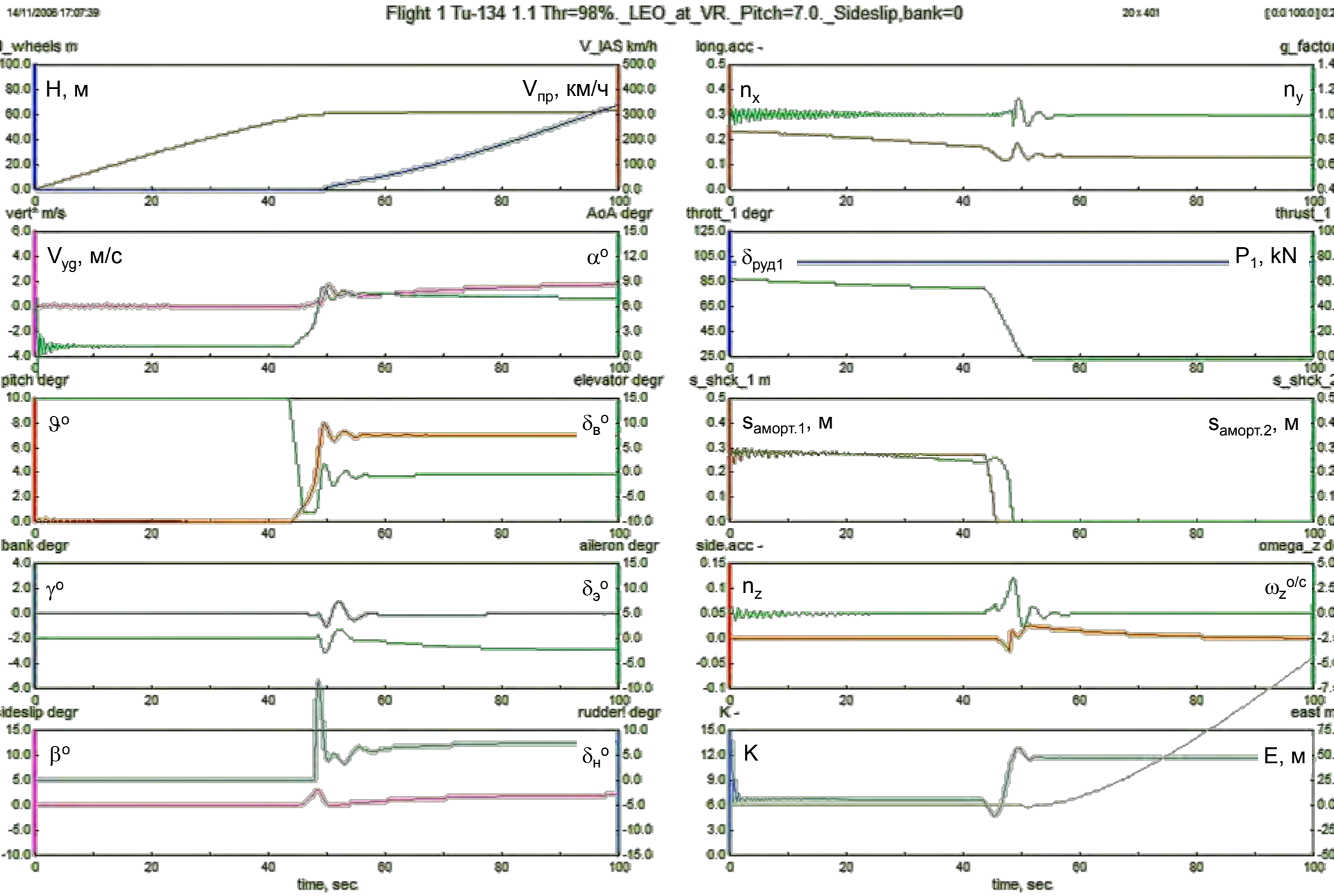
E , м – боковой увод

Пояснения. Обозначения параметров на полях графиков слева и справа относятся к шкалам измерений, которые расположены, соответственно, слева и справа (шкала и график одного параметра имеют одинаковый цвет). Всего в модели вычисляются более 400 параметров самолета Ту-134.

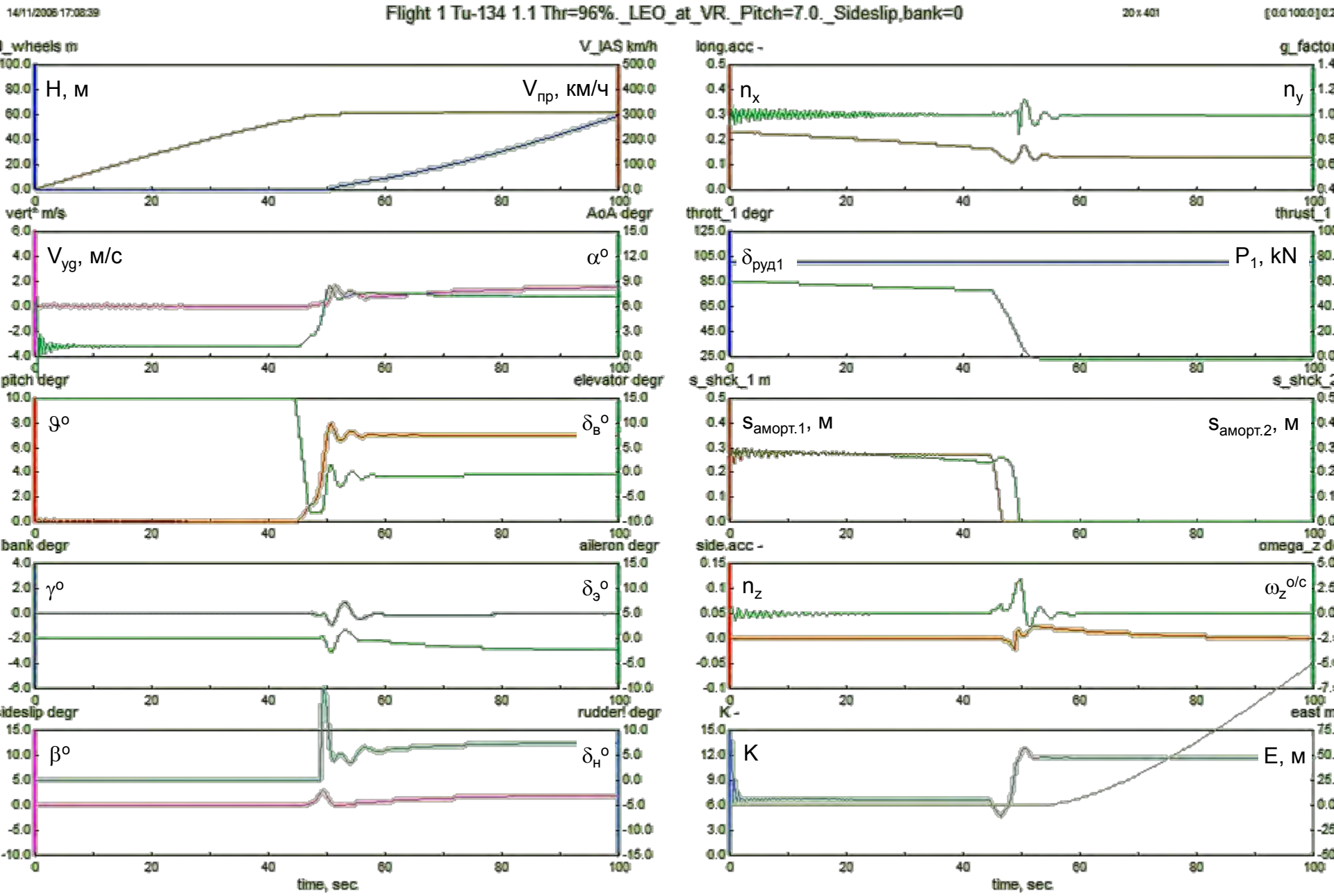
**Результаты моделирования
семейства ситуаций №3 “Продолженный взлёт
при вариациях располагаемой взлётной тяги
от 100 до 80% и целевом угле тангажа
после отрыва, равном 7° ”**



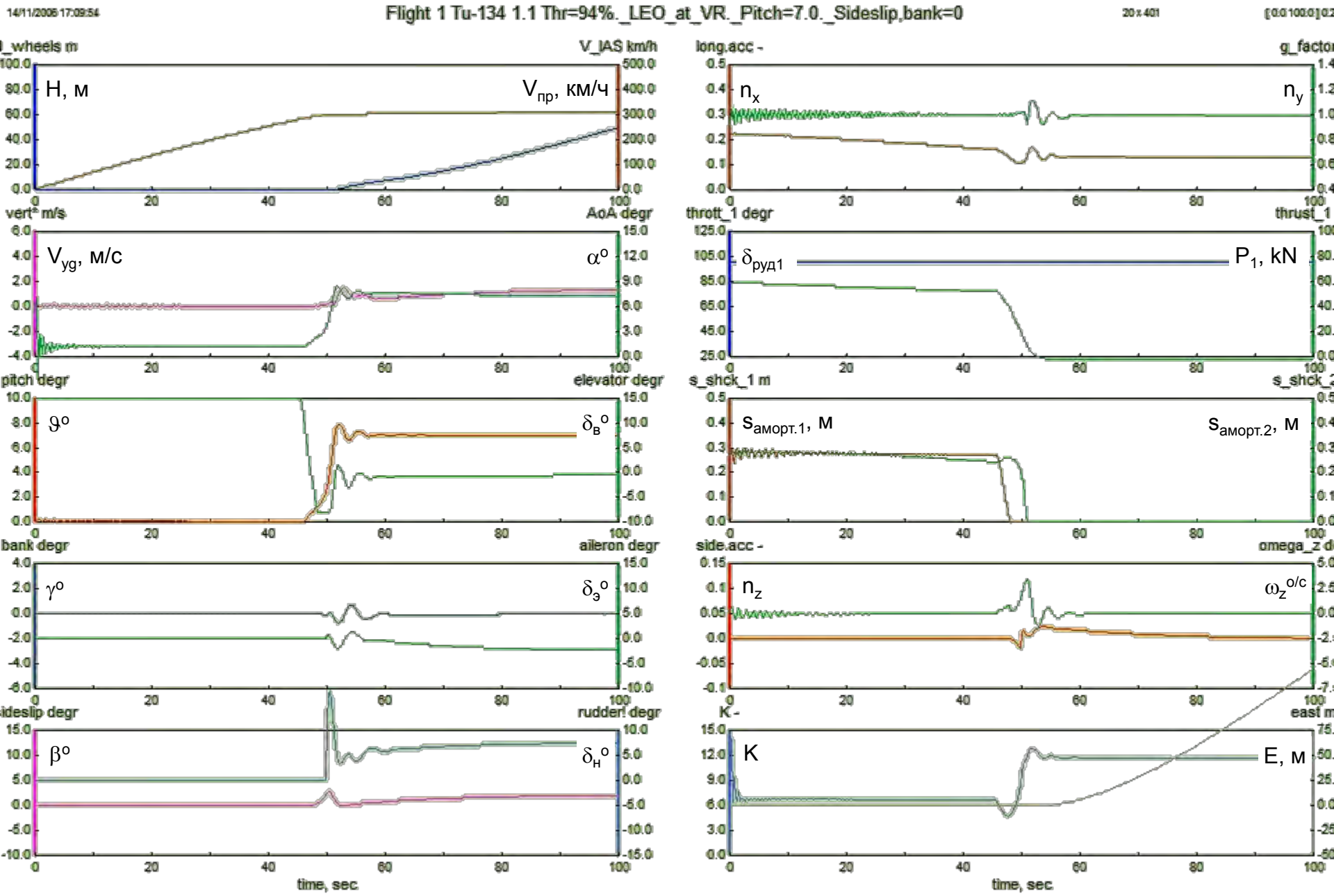
$$100/7: \bar{P} = 100\%, \mathcal{G}_{зад} = 7^\circ$$



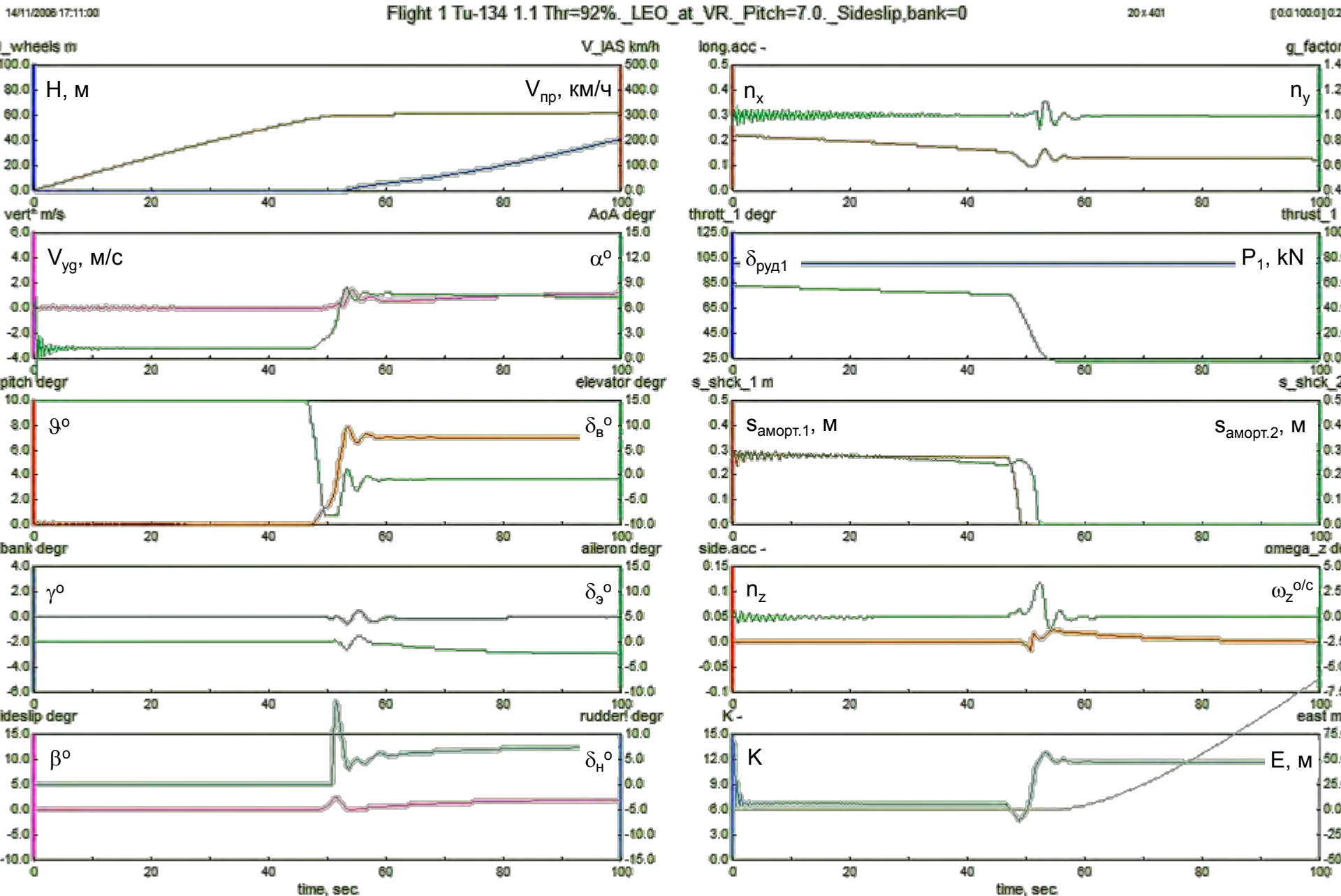
$$98/7: \bar{P} = 98\%, \mathcal{G}_{c\ddot{a}\ddot{a}} = 7^{\circ}$$



$$96/7: \bar{P} = 96\%, \mathcal{G}_{\zeta\ddot{a}} = 7^\circ$$



$$94/7: \bar{P} = 94\%, \mathcal{G}_{\text{c}\ddot{a}\ddot{a}} = 7^\circ$$



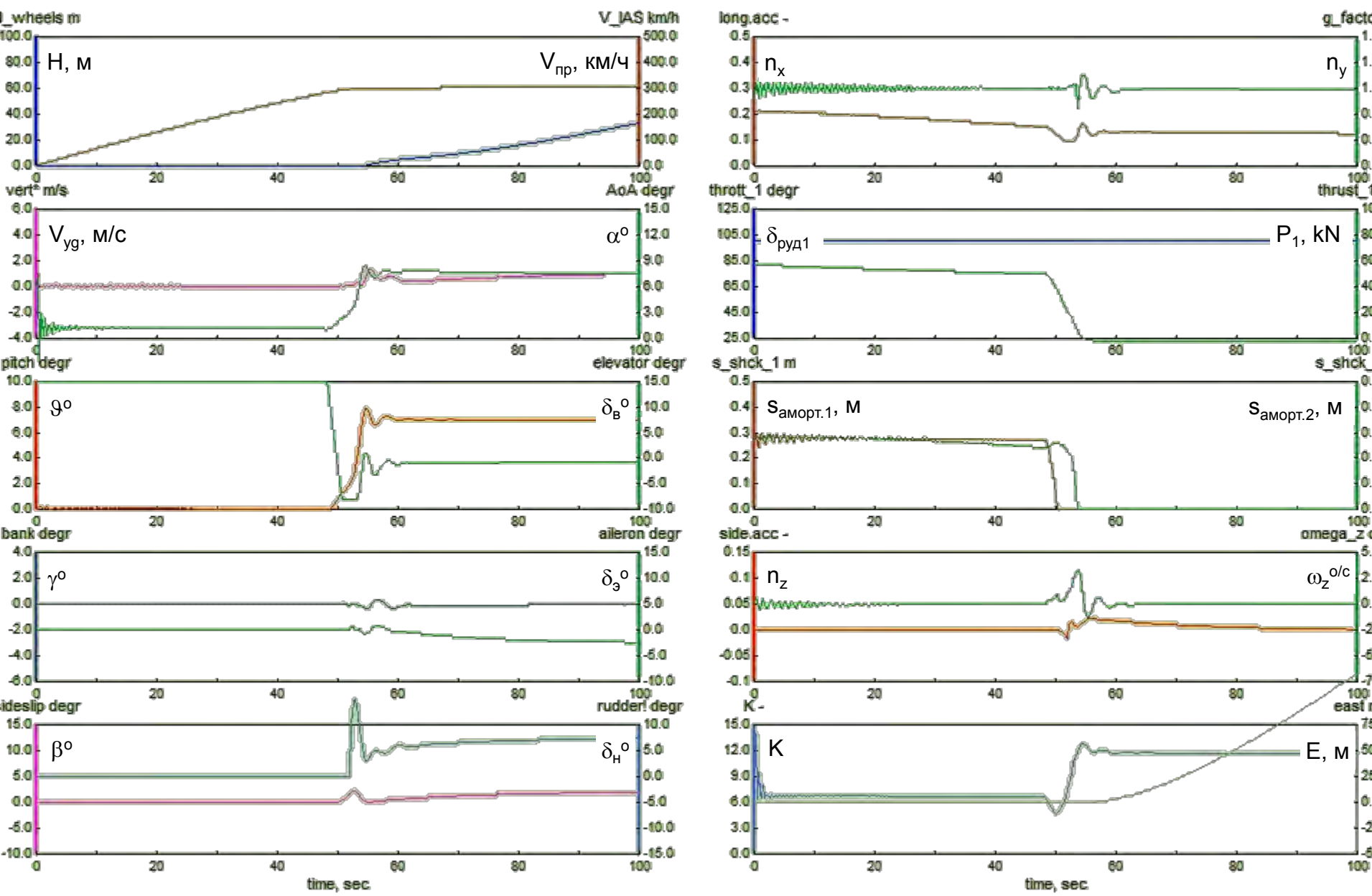
92/7: $\bar{P} = 92\%$, $\vartheta_{\zeta\ddot{a}i} = 7^\circ$

14/11/2005 17:12:28

Flight 1 Tu-134 1.1 Thr=90%_LEO_at_VR_Pitch=7.0_Sideslip,bank=0

20 x 401

[00100.0]02



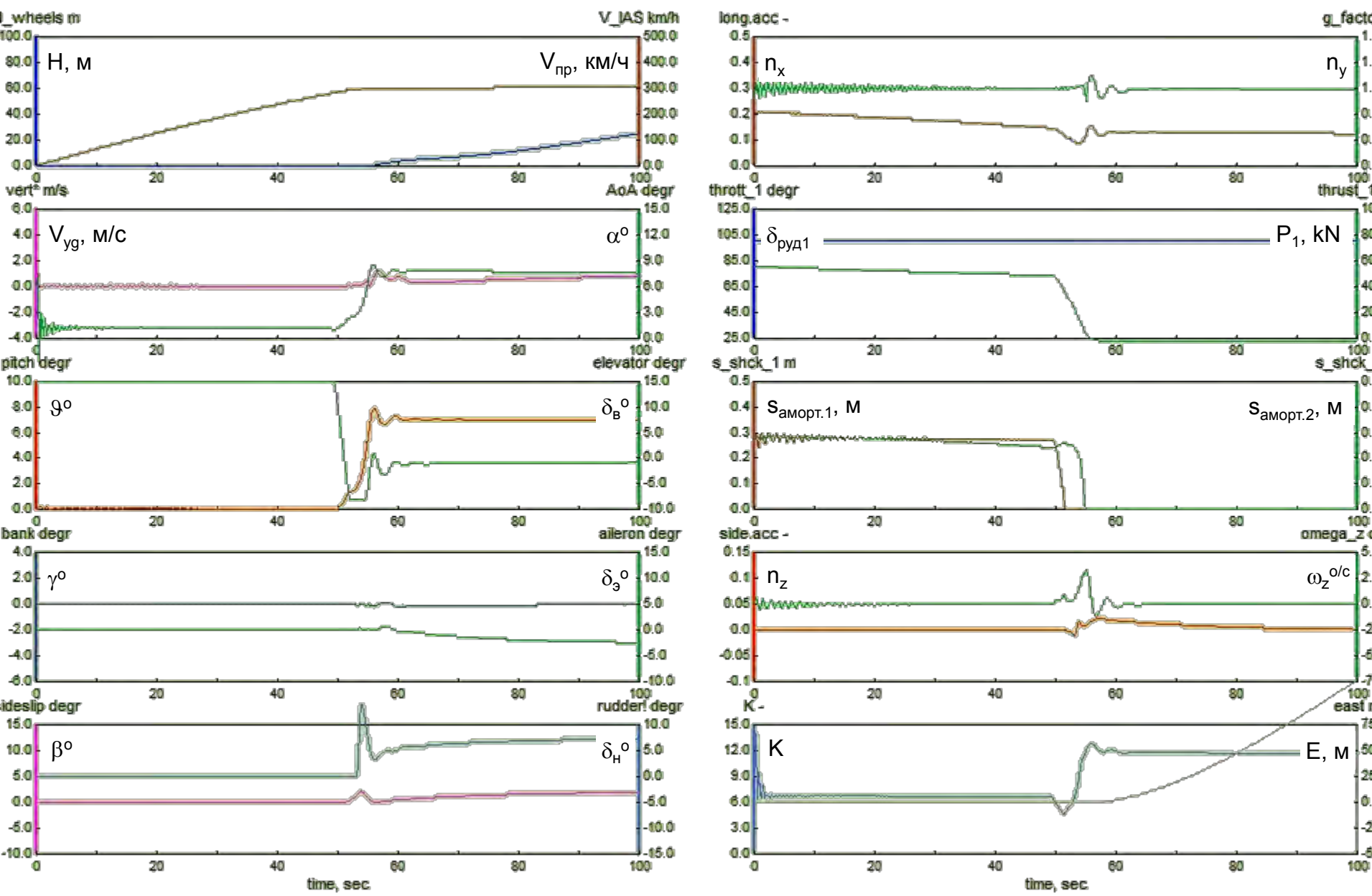
$$90/7: \bar{P} = 90\%, \mathcal{I}_{\dot{\alpha}\ddot{\alpha}} = 7^\circ$$

14/11/2006 17:13:23

Flight 1 Tu-134 1.1 Thr=88%_LEO_at_VR_Pitch=7.0_Sideslip,bank=0

20 x 401

[00100.0]02



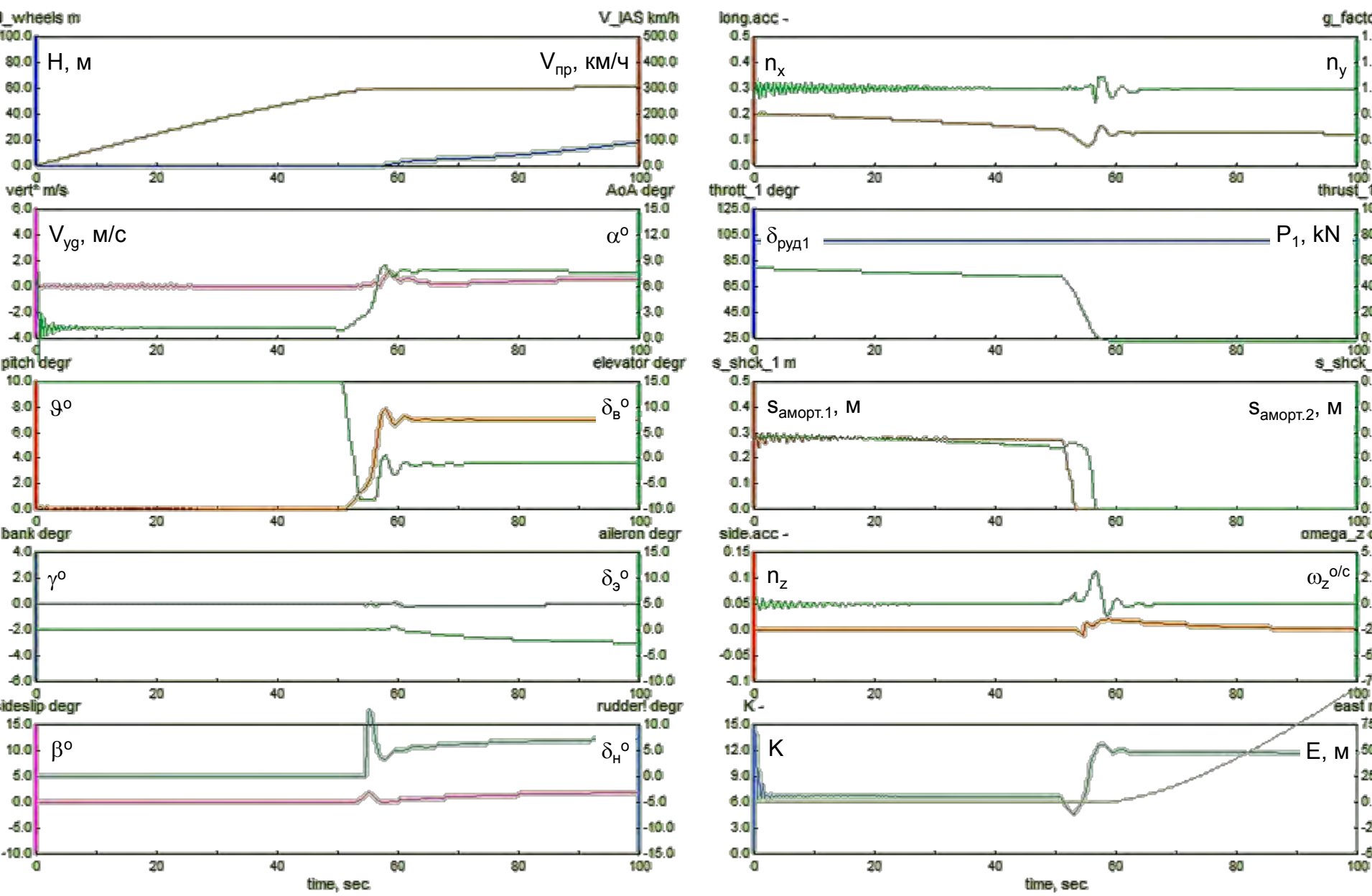
$$88/7: \bar{P} = 88\%, \mathcal{I}_{\dot{\alpha}\ddot{\alpha}} = 7^\circ$$

14/11/2005 17:14:28

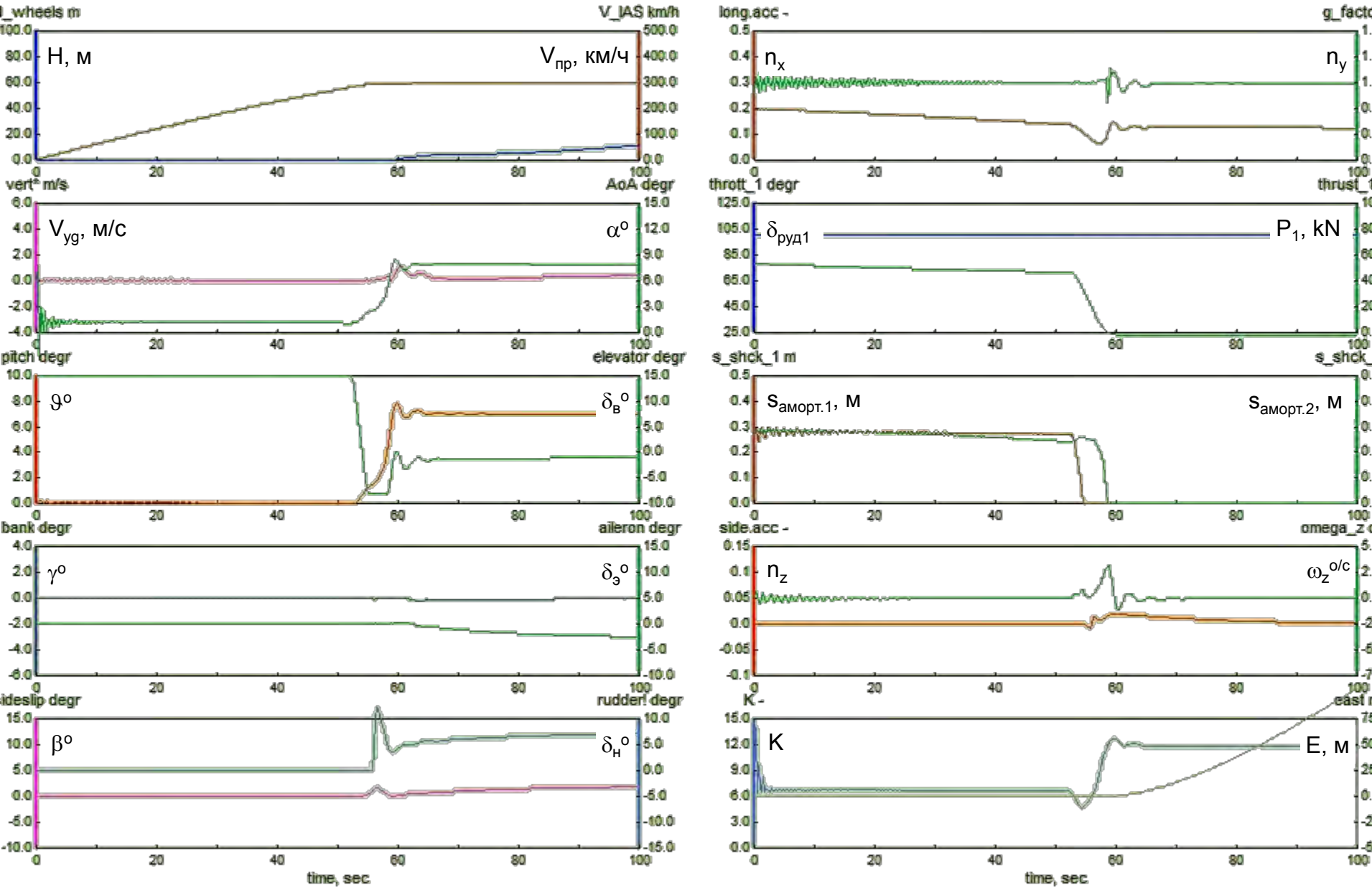
Flight 1 Tu-134 1.1 Thr=86%_LEO_at_VR_Pitch=7.0_Sideslip,bank=0

20 x 401

[00100.0]0.2



$$86/7: \bar{P} = 86\%, \mathcal{G}_{c\ddot{a}\ddot{a}} = 7^\circ$$



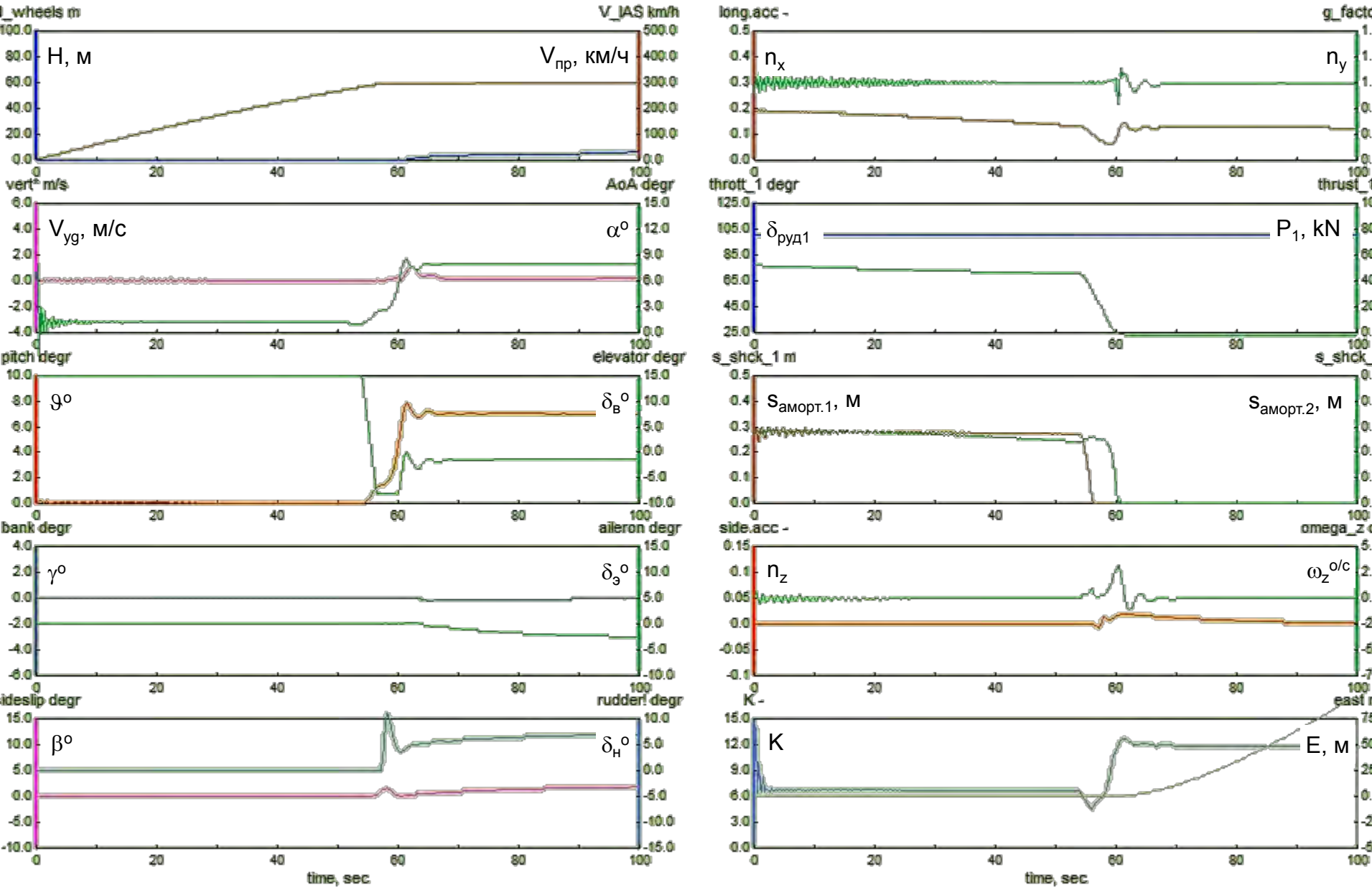
$$84/7: \bar{P} = 84\%, \mathcal{G}_{\text{çää}} = 7^\circ$$

14/11/2005 17:16:34

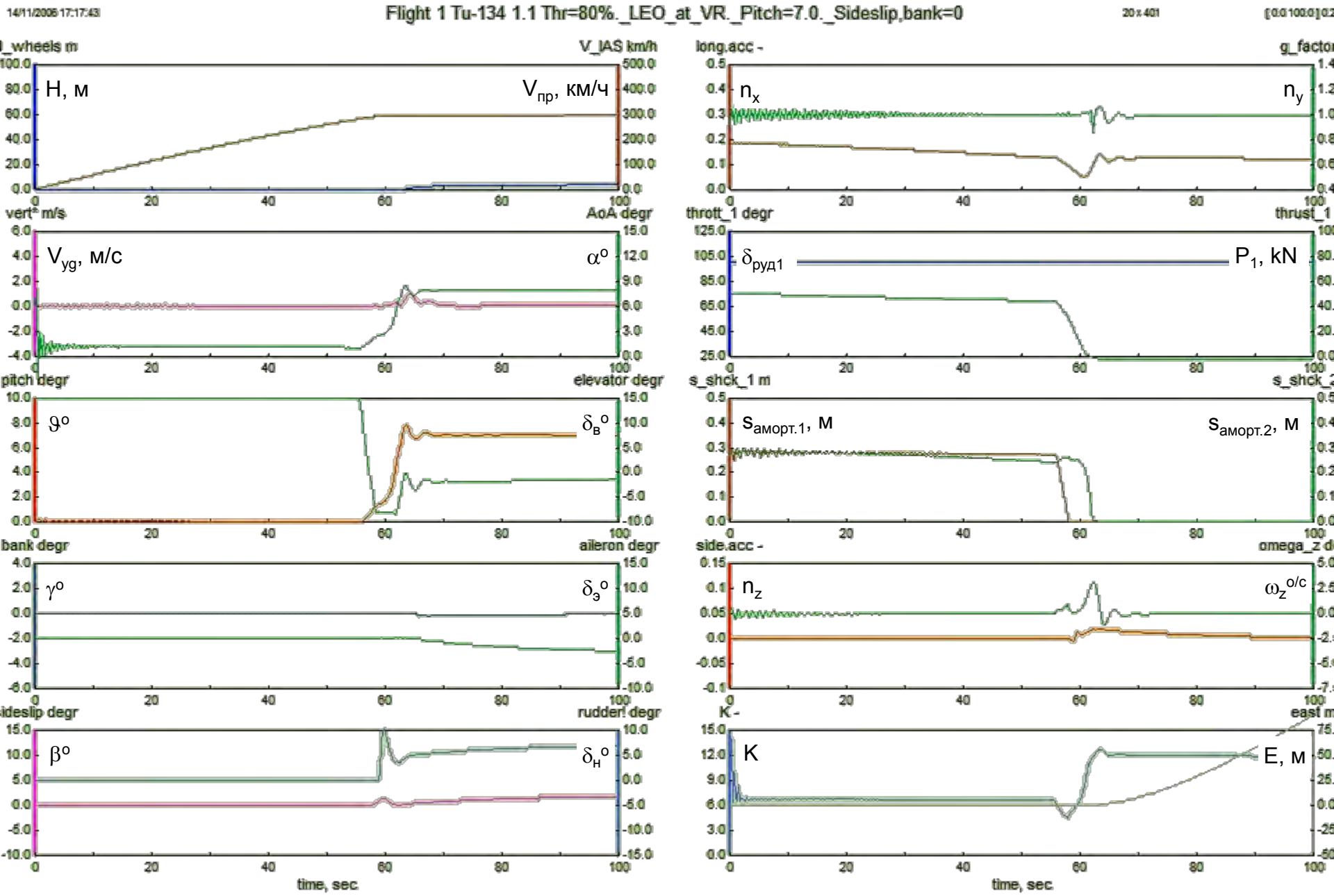
Flight 1 Tu-134 1.1 Thr=82%_LEO_at_VR_Pitch=7.0_Sideslip,bank=0

20 x 401

[00100.0]02



$$82/7: \bar{P} = 82\%, \mathcal{G}_{\text{çàä}} = 7^\circ$$



$$80/7: \bar{P} = 80\%, \mathcal{G}_{\text{çää}} = 7^\circ$$

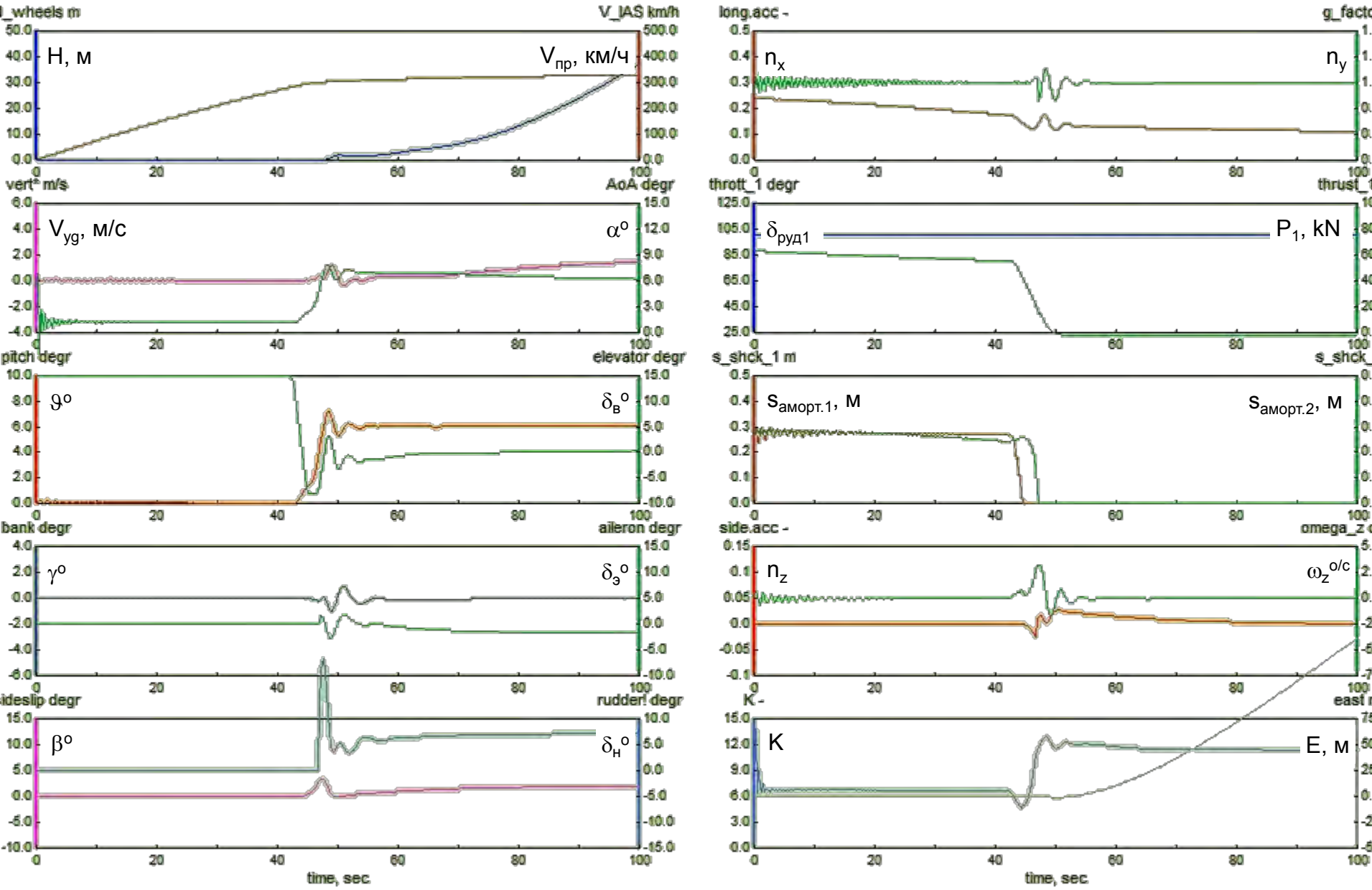
**Результаты моделирования
семейства ситуаций №4 “Продолженный взлёт
при вариациях располагаемой взлётной тяги
от 100 до 80% и целевом угле тангажа
после отрыва, равном 6° ”**

14/11/2006 17:55:18

Flight 1 Tu-134 1.1 Thr=100%_LEO_at_VR_Pitch=6.0_Sideslip,bank=0

20 x 401

[00100.0]02



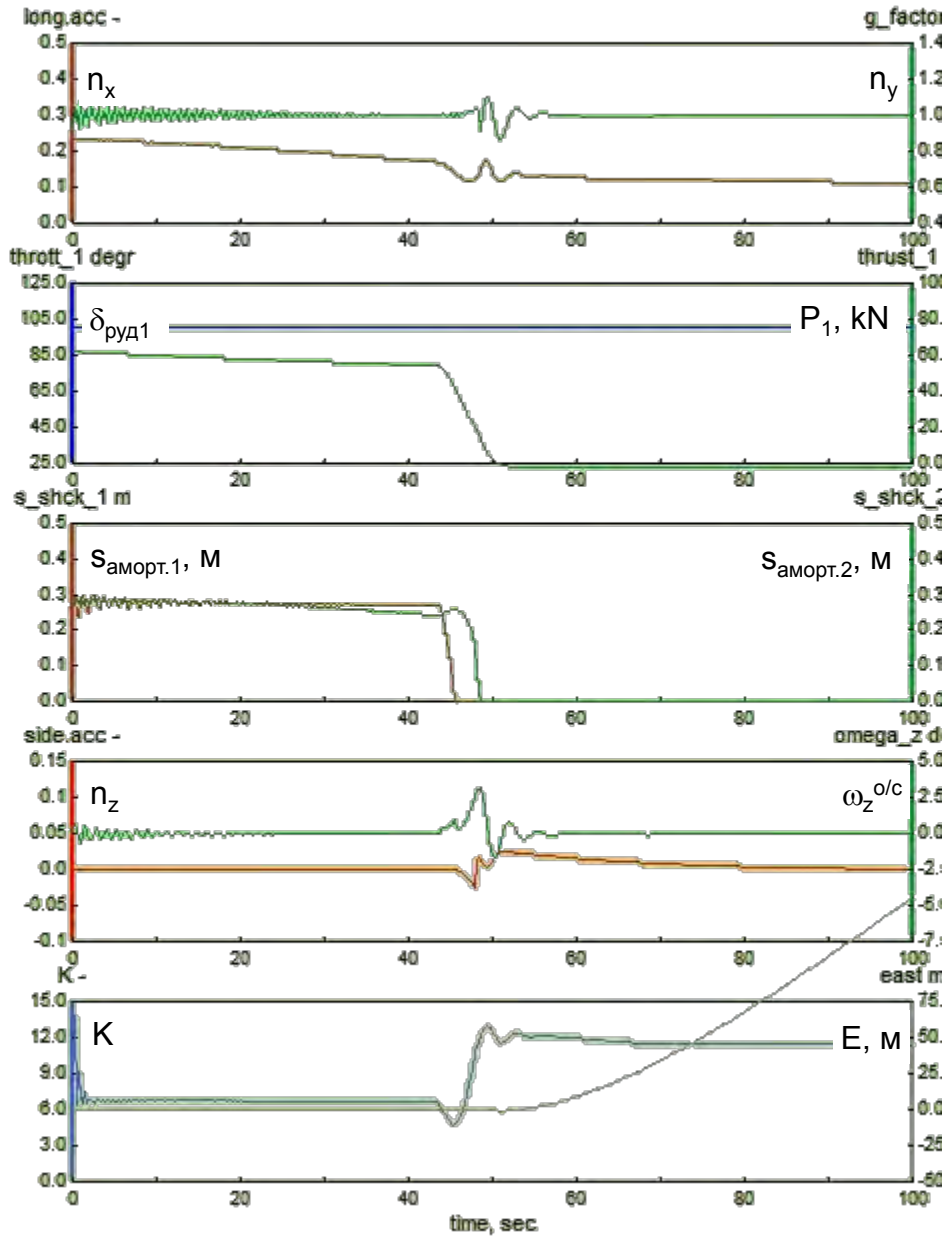
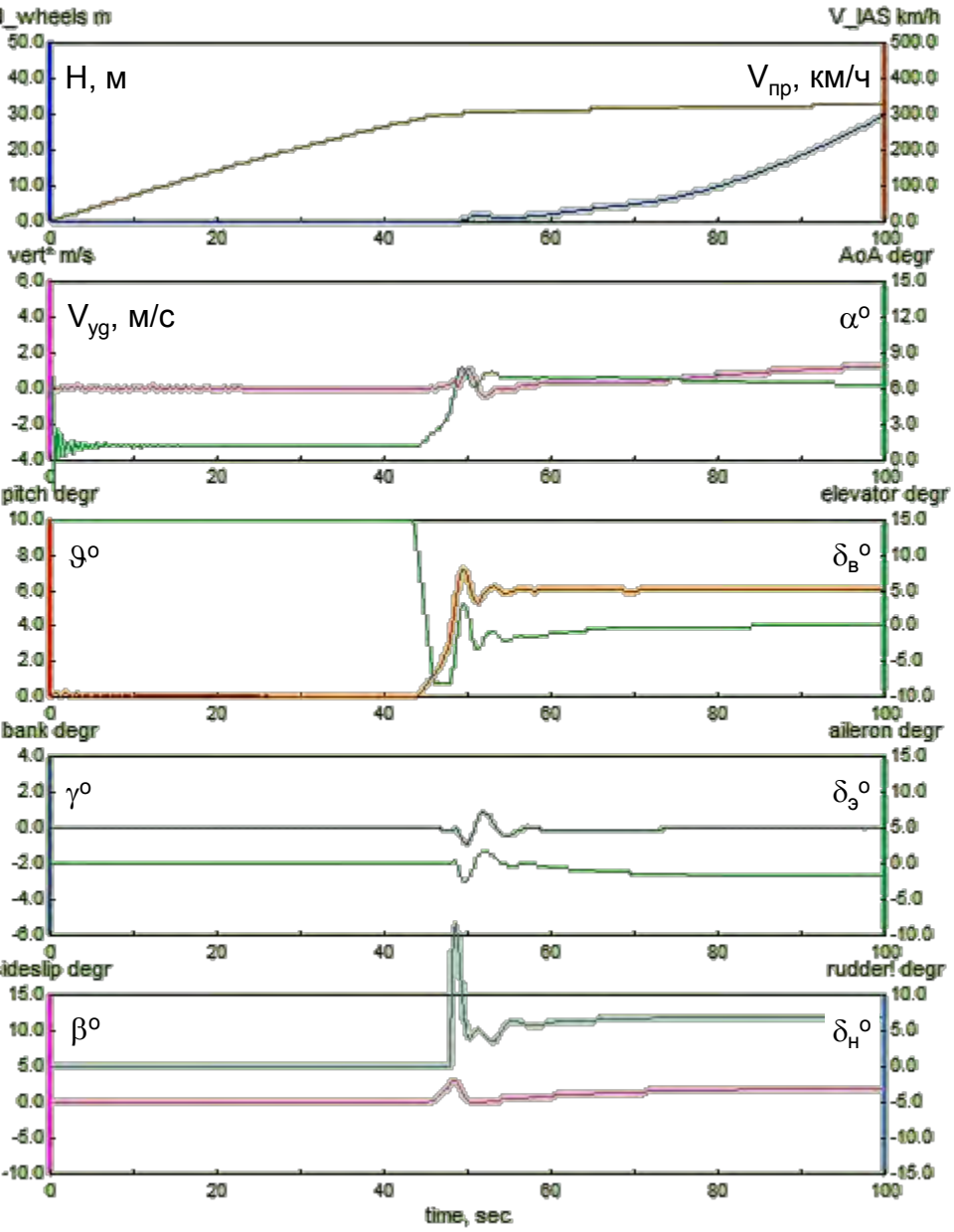
$$100/6: \bar{P} = 100\%, \mathcal{G}_{зад} = 6^\circ$$

14/11/2006 17:57:03

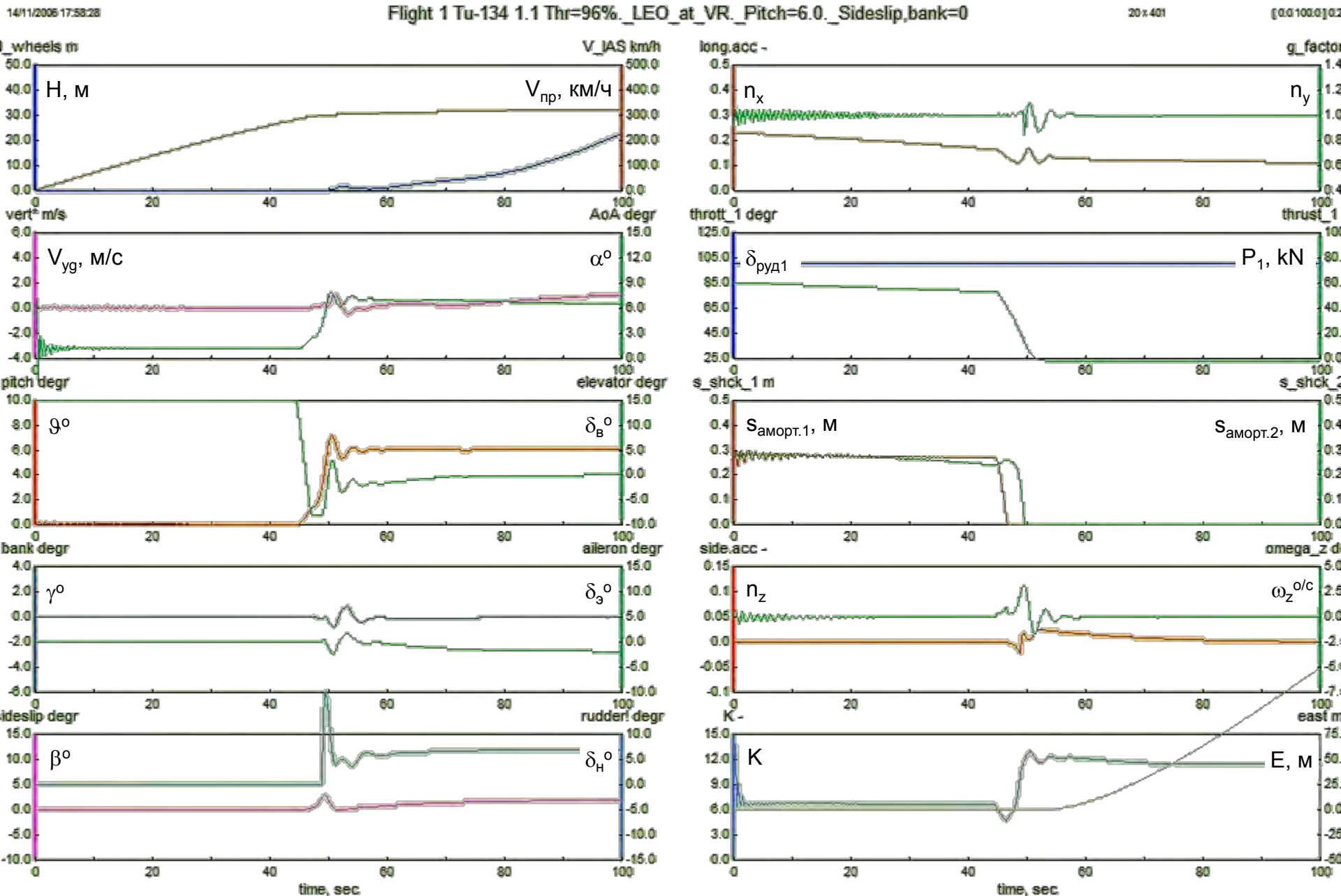
Flight 1 Tu-134 1.1 Thr=98%_LEO_at_VR_Pitch=6.0_Sideslip,bank=0

20 x 401

[00100.0]02



$$98/6: \bar{P} = 98\%, \mathcal{G}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} = 6^\circ$$



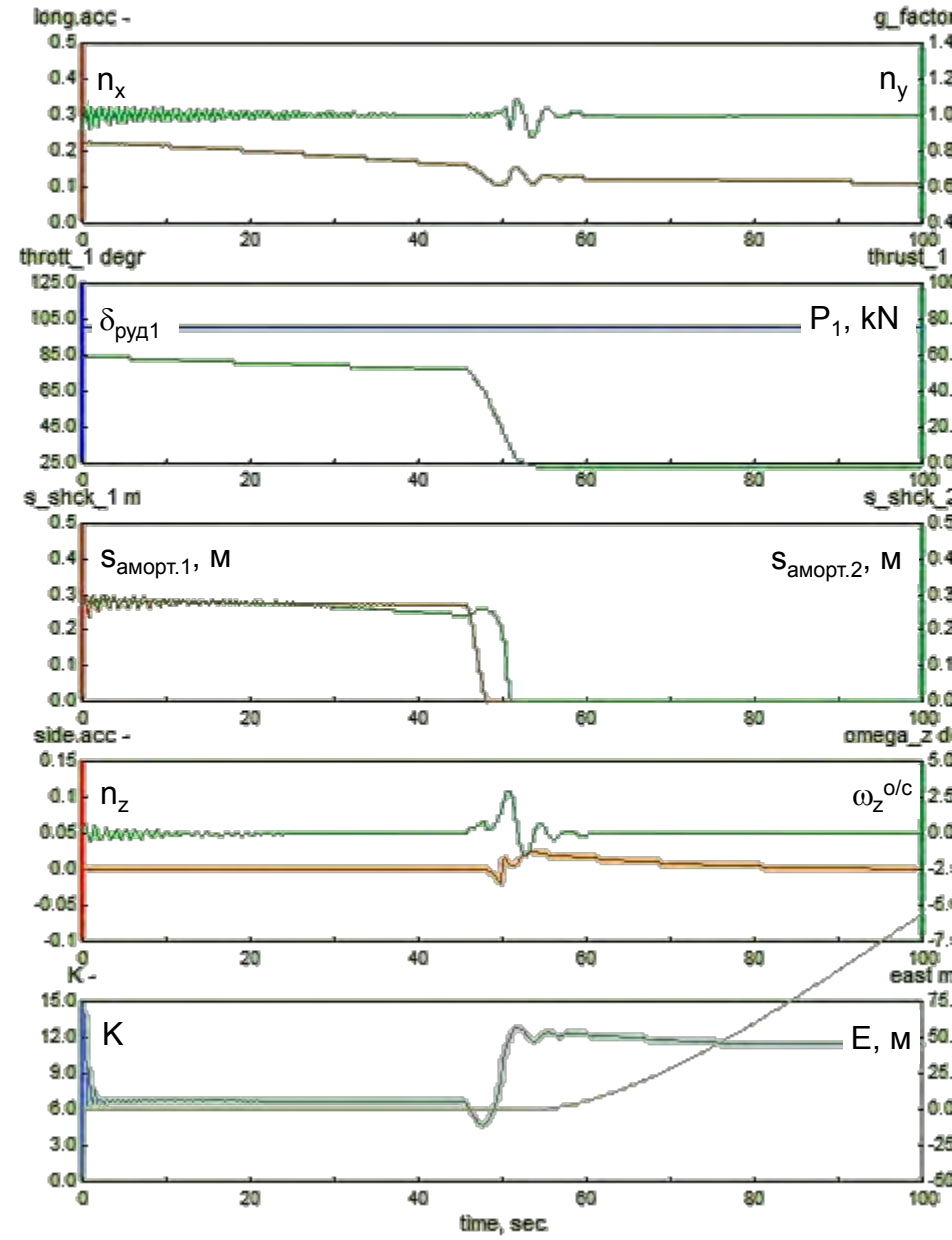
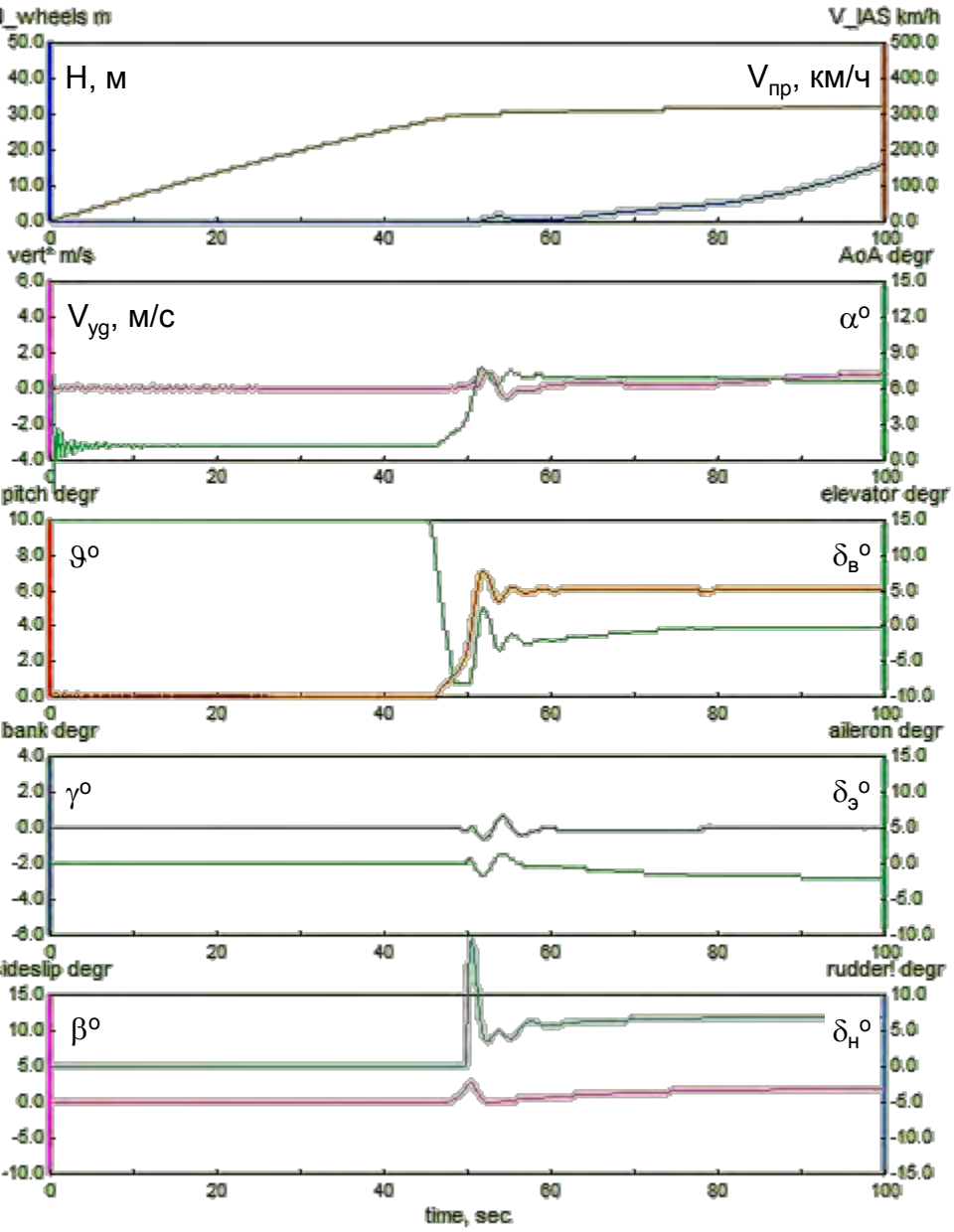
$$96/6: \bar{P} = 96\%, \mathcal{G}_{\text{çää}} = 6^\circ$$

14/11/2006 17:59:20

Flight 1 Tu-134 1.1 Thr=94%_LEO_at_VR_Pitch=6.0_Sideslip,bank=0

20x401

[00100.0]02



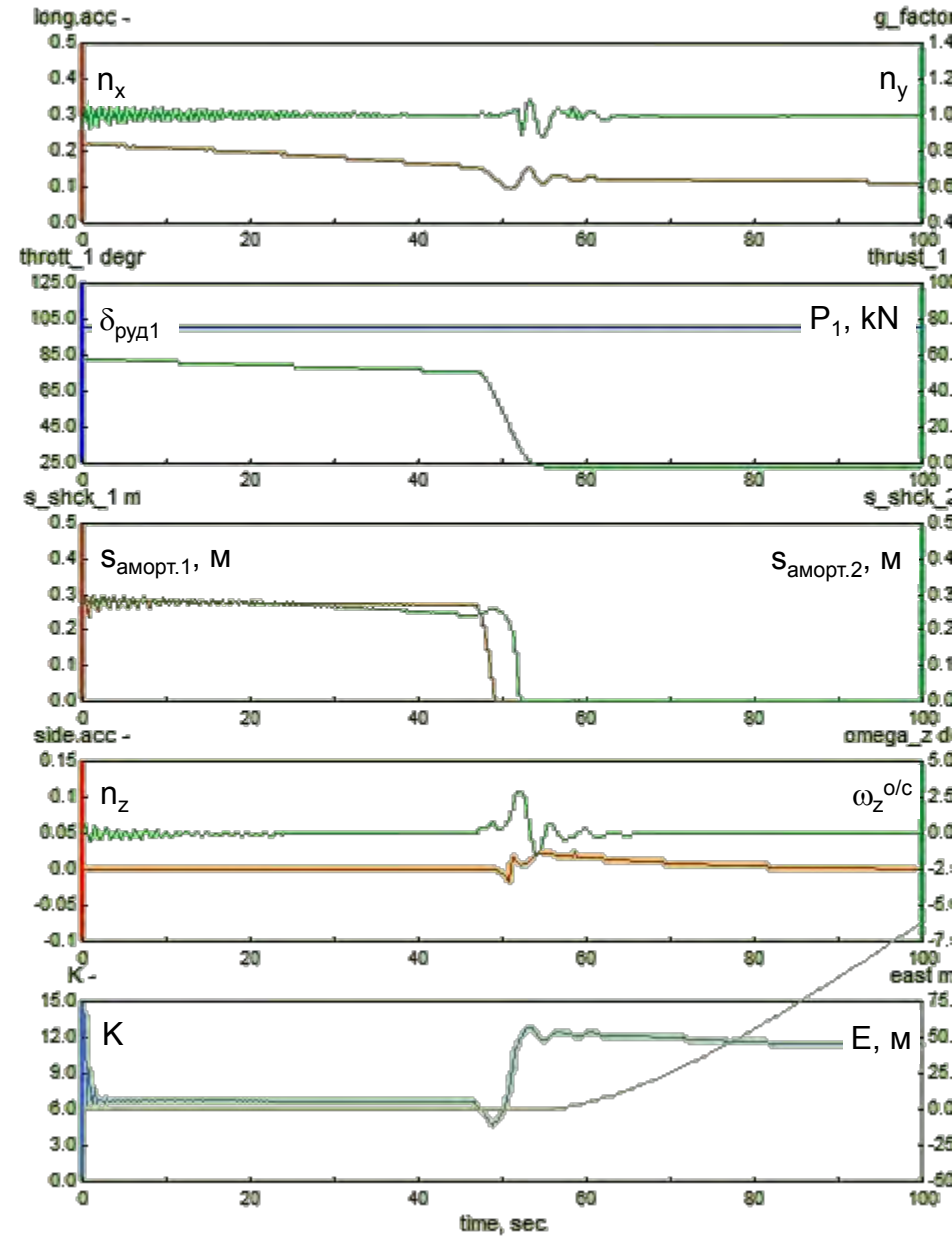
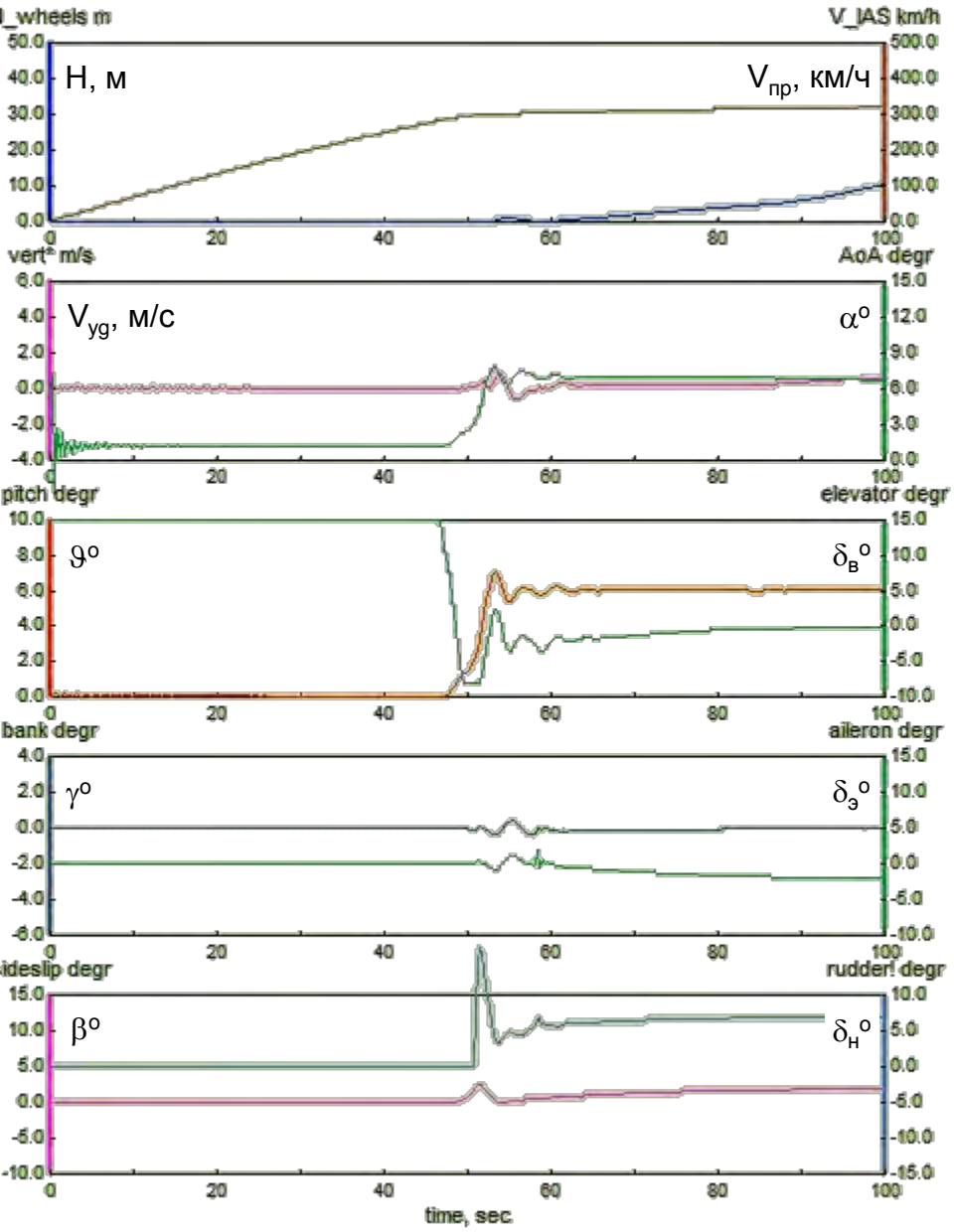
$$94/6: \bar{P} = 94\%, \mathcal{G}_{\dot{c}\ddot{a}\ddot{a}} = 6^\circ$$

14/11/2006 17:59:52

Flight 1 Tu-134 1.1 Thr=92%_LEO_at_VR_Pitch=6.0_Sideslip,bank=0

20x401

[00100.0]02



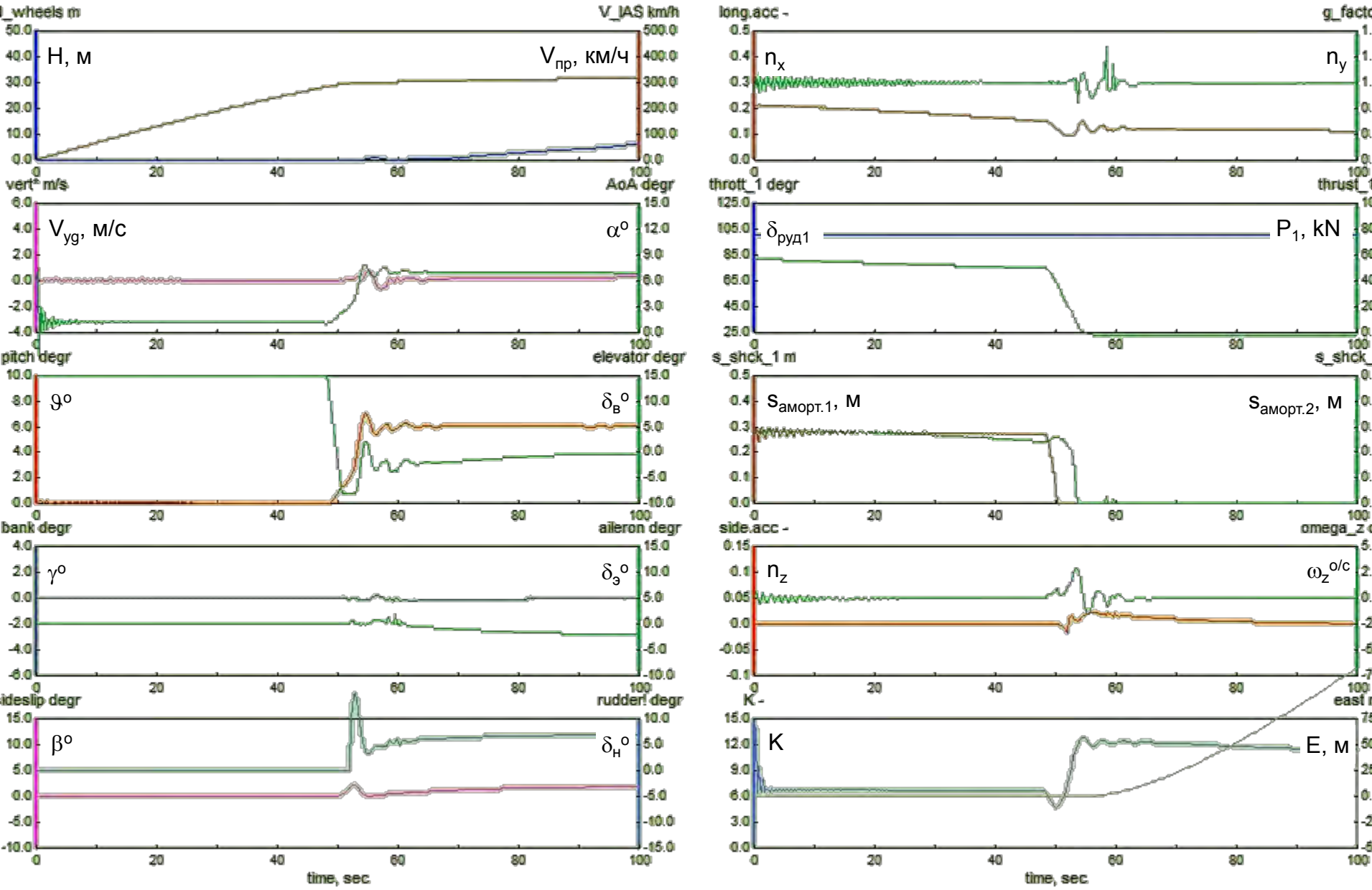
$$92/6: \bar{P} = 92\%, \mathcal{G}_{\text{c}\ddot{a}\ddot{a}} = 6^\circ$$

14/11/2005 18:00:42

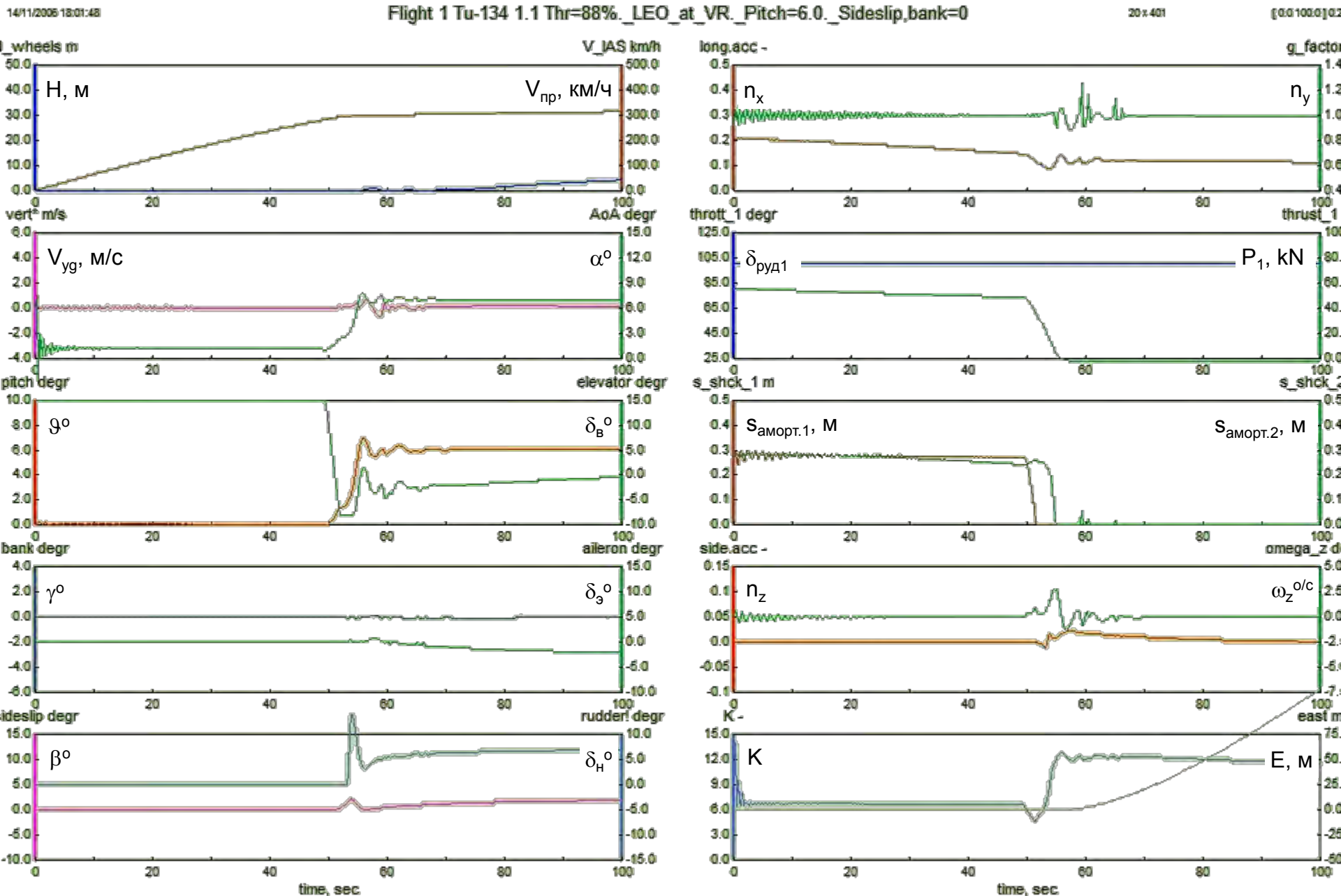
Flight 1 Tu-134 1.1 Thr=90%_LEO_at_VR_Pitch=6.0_Sideslip,bank=0

20 x 401

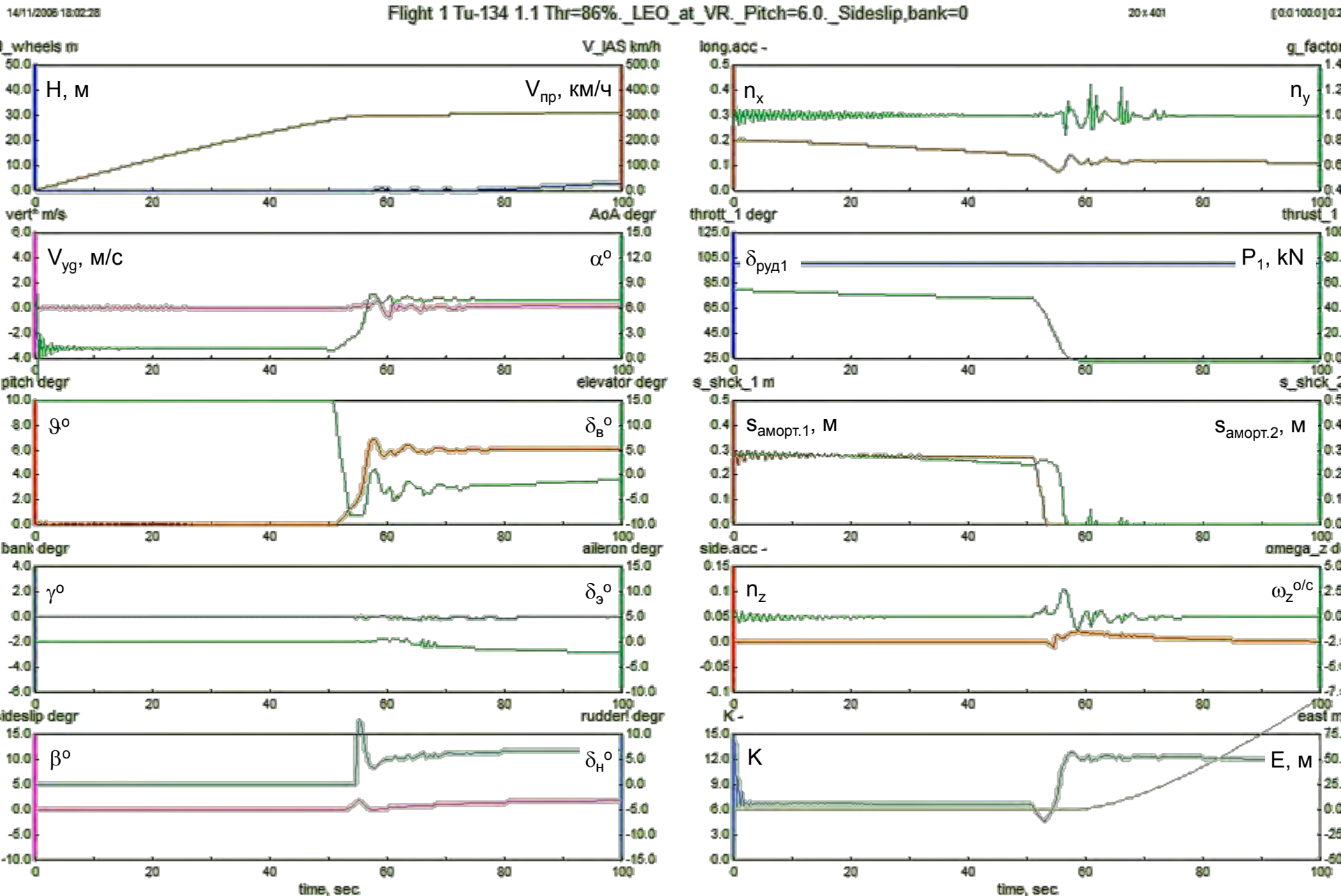
[00100.0]02



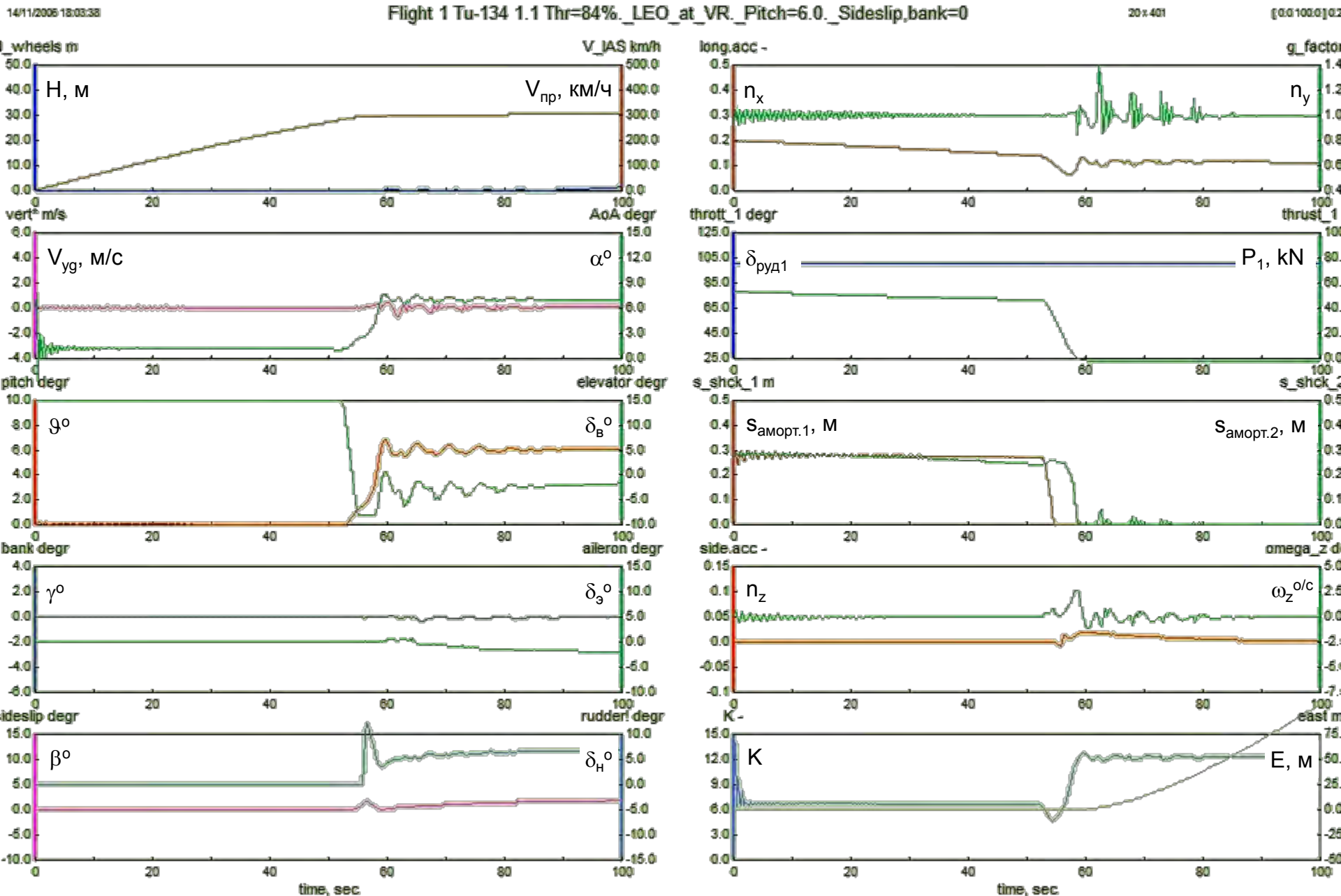
$$90/6: \bar{P} = 90\%, \mathcal{G}_{\text{c}\ddot{a}\ddot{a}} = 6^\circ$$



$$88/6: \bar{P} = 88\%, \mathcal{G}_{\text{çàä}} = 6^\circ$$



$$86/6: \bar{P} = 86\%, \mathcal{G}_{\text{çää}} = 6^\circ$$



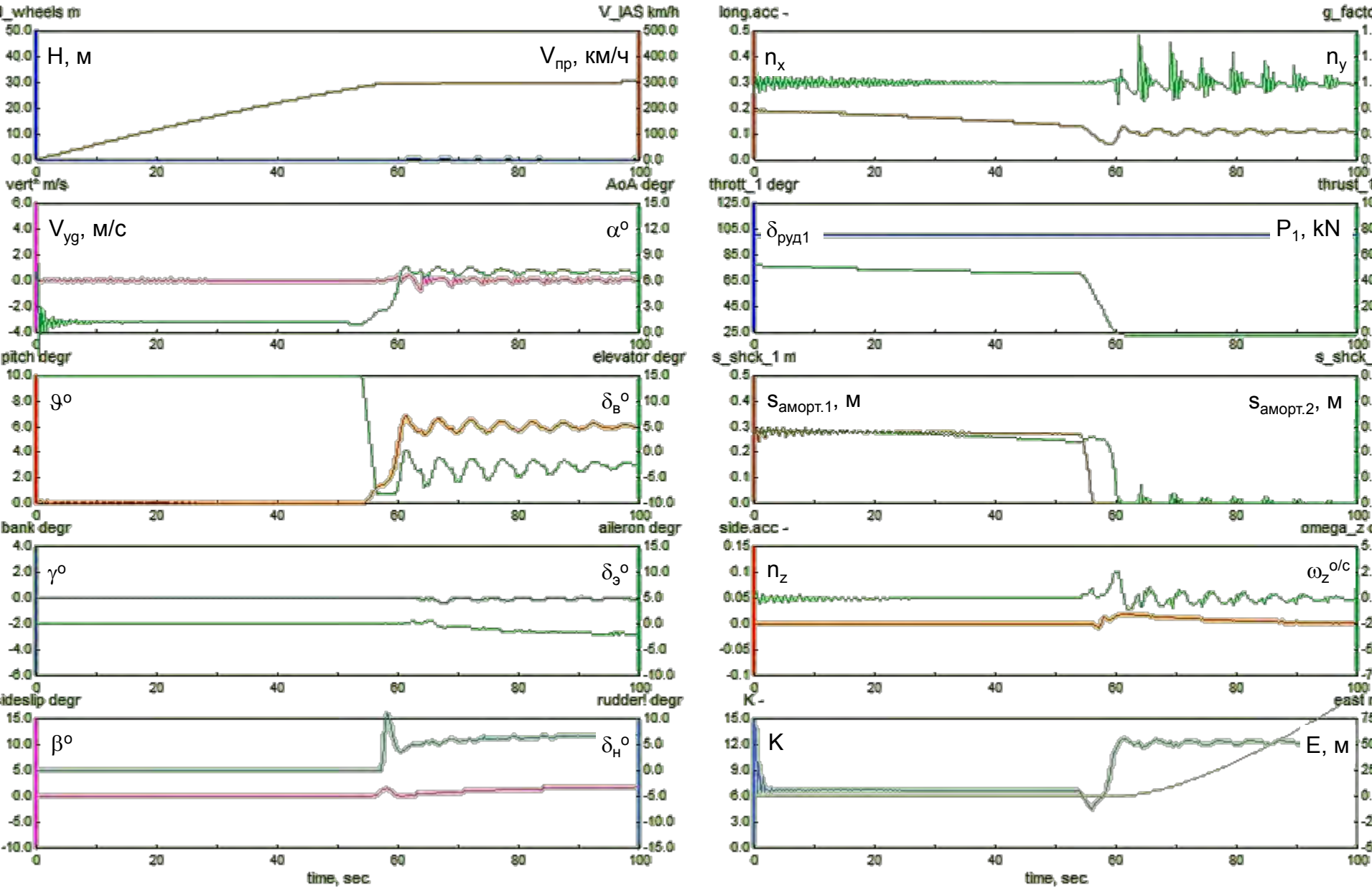
$$84/6: \bar{P} = 84\%, \mathcal{G}_{\dot{\alpha}\ddot{\alpha}} = 6^\circ$$

14/11/2005 18:04:21

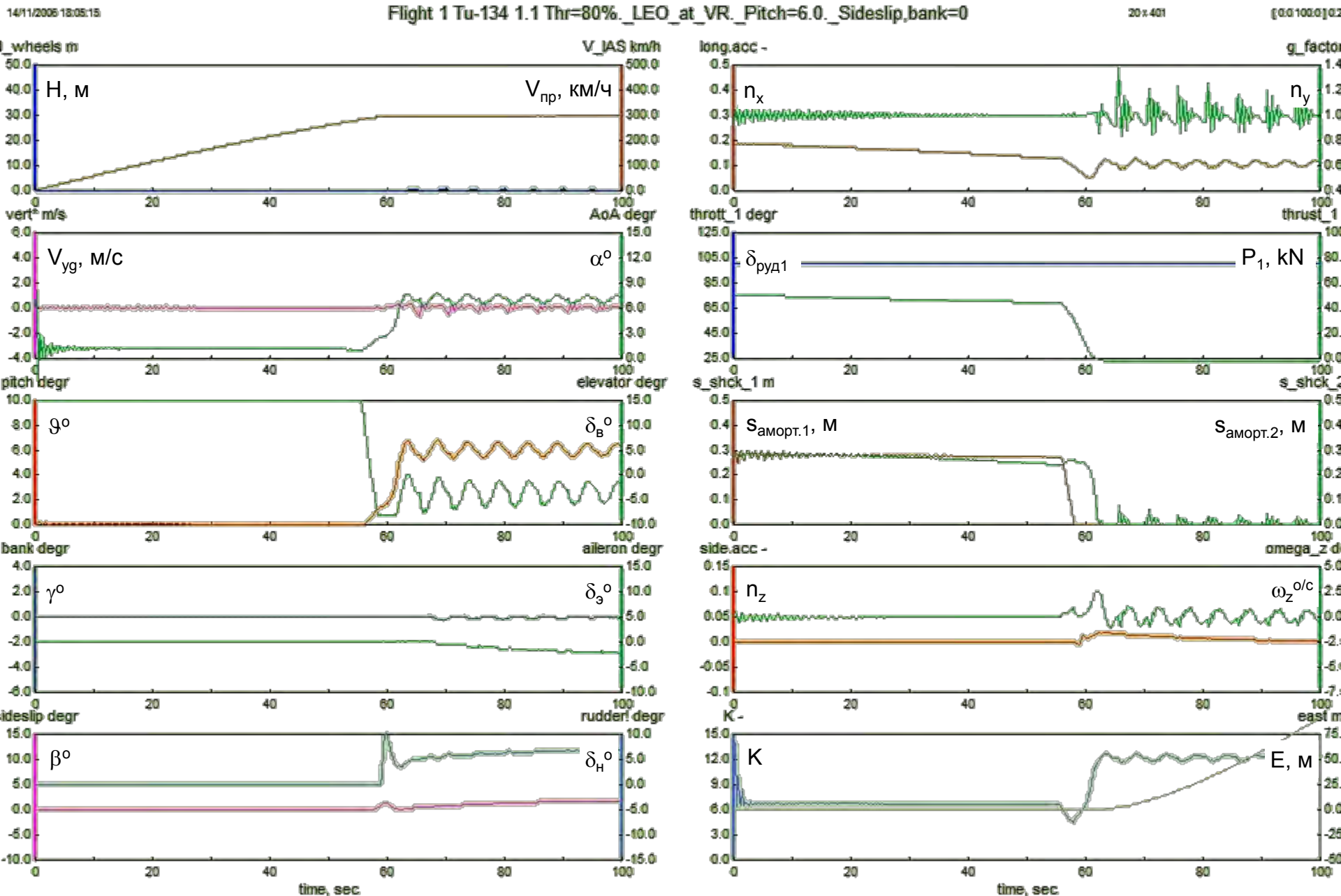
Flight 1 Tu-134 1.1 Thr=82%_LEO_at_VR_Pitch=6.0_Sideslip,bank=0

20 x 401

[00100.0]02

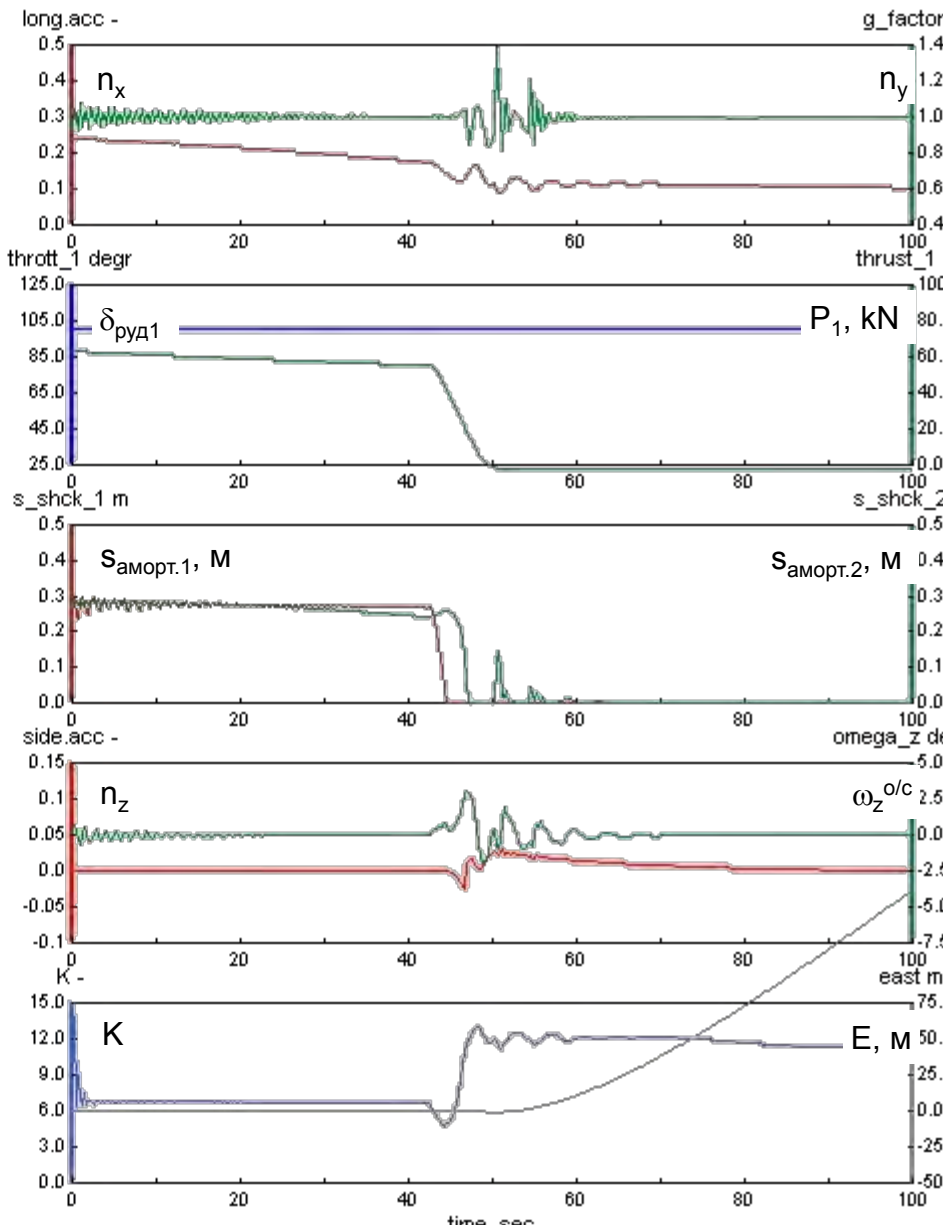
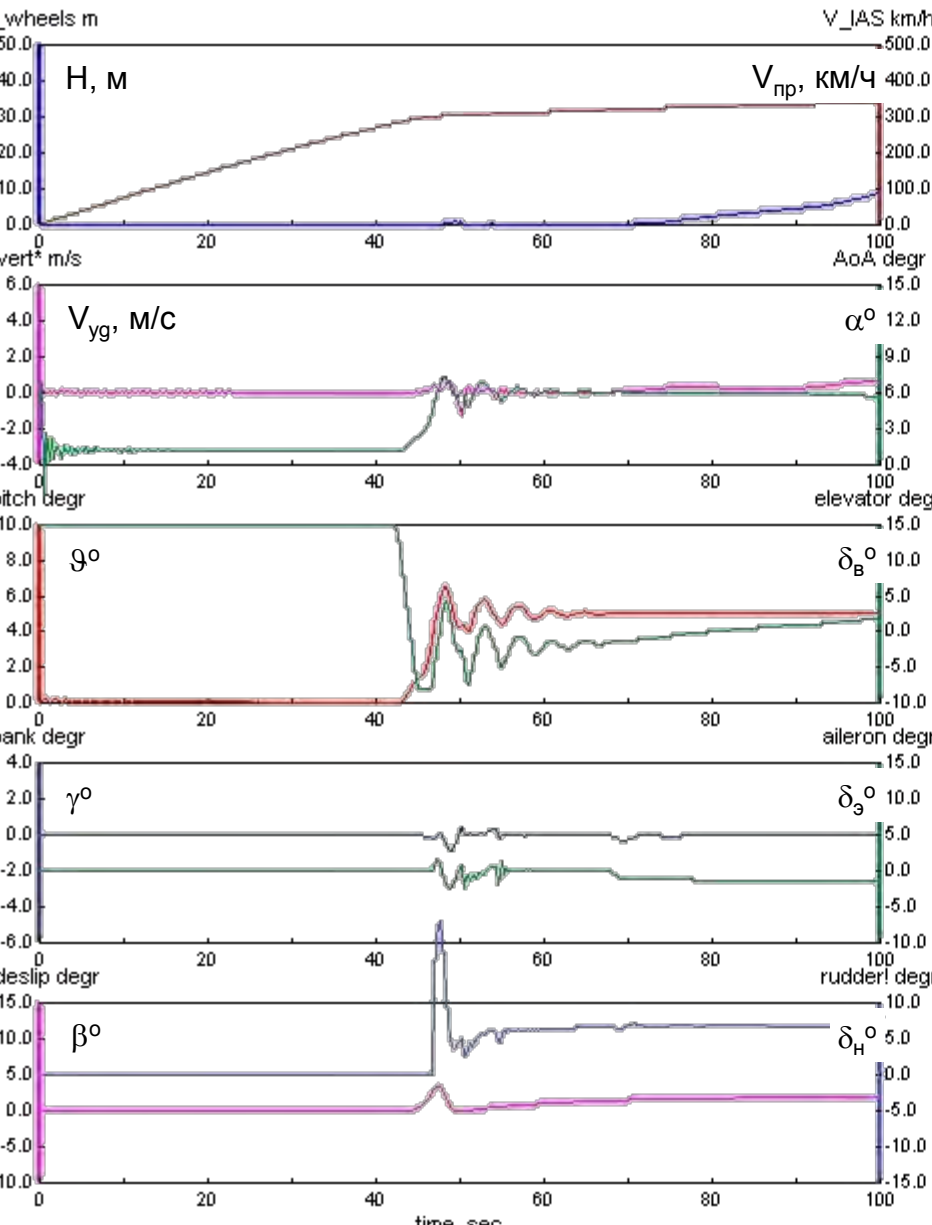


$$82/6: \bar{P} = 82\%, \mathcal{G}_{\text{çää}} = 6^\circ$$

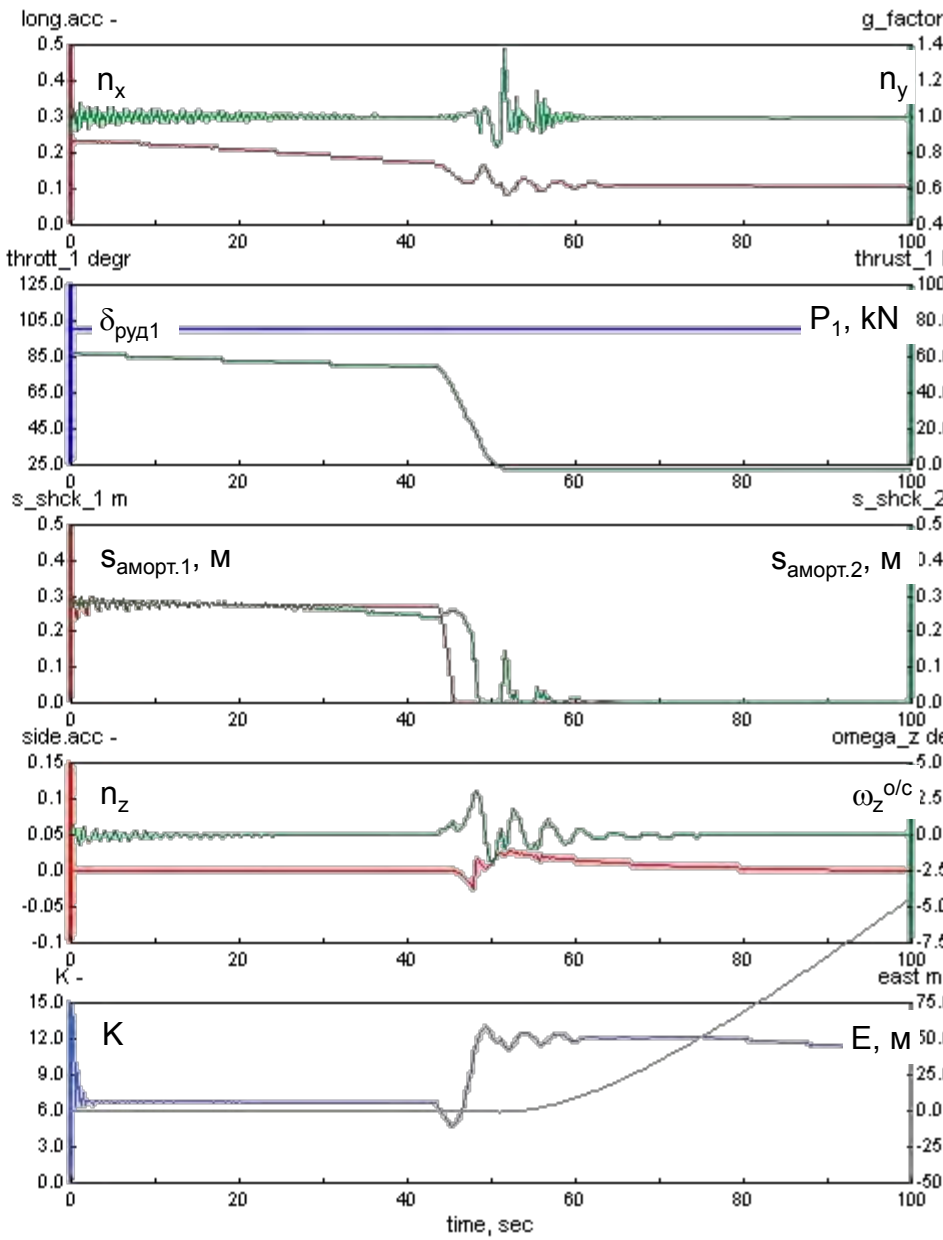
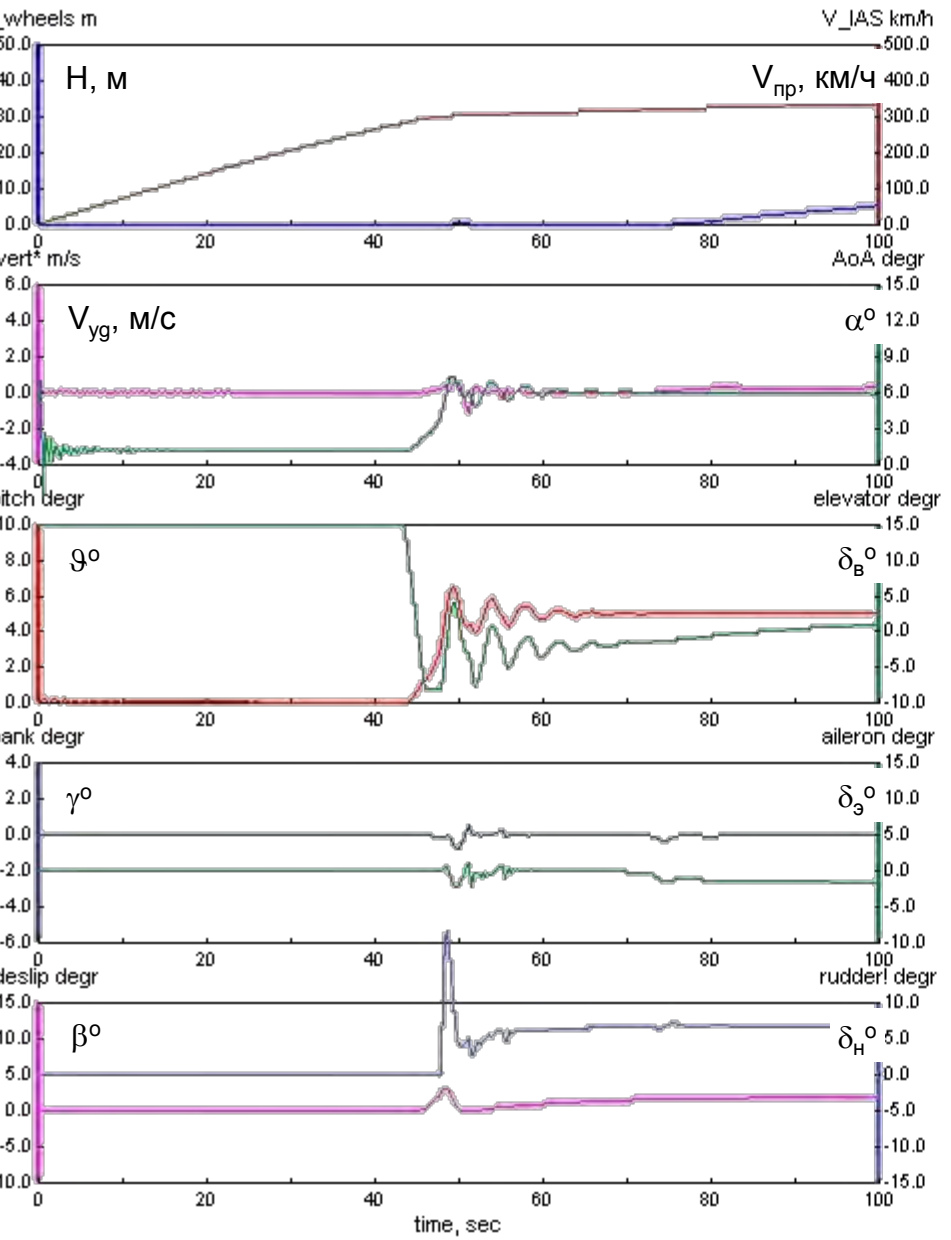


$$80/6: \bar{P} = 80\%, \mathcal{G}_{\dot{c}\ddot{a}\ddot{a}} = 6^\circ$$

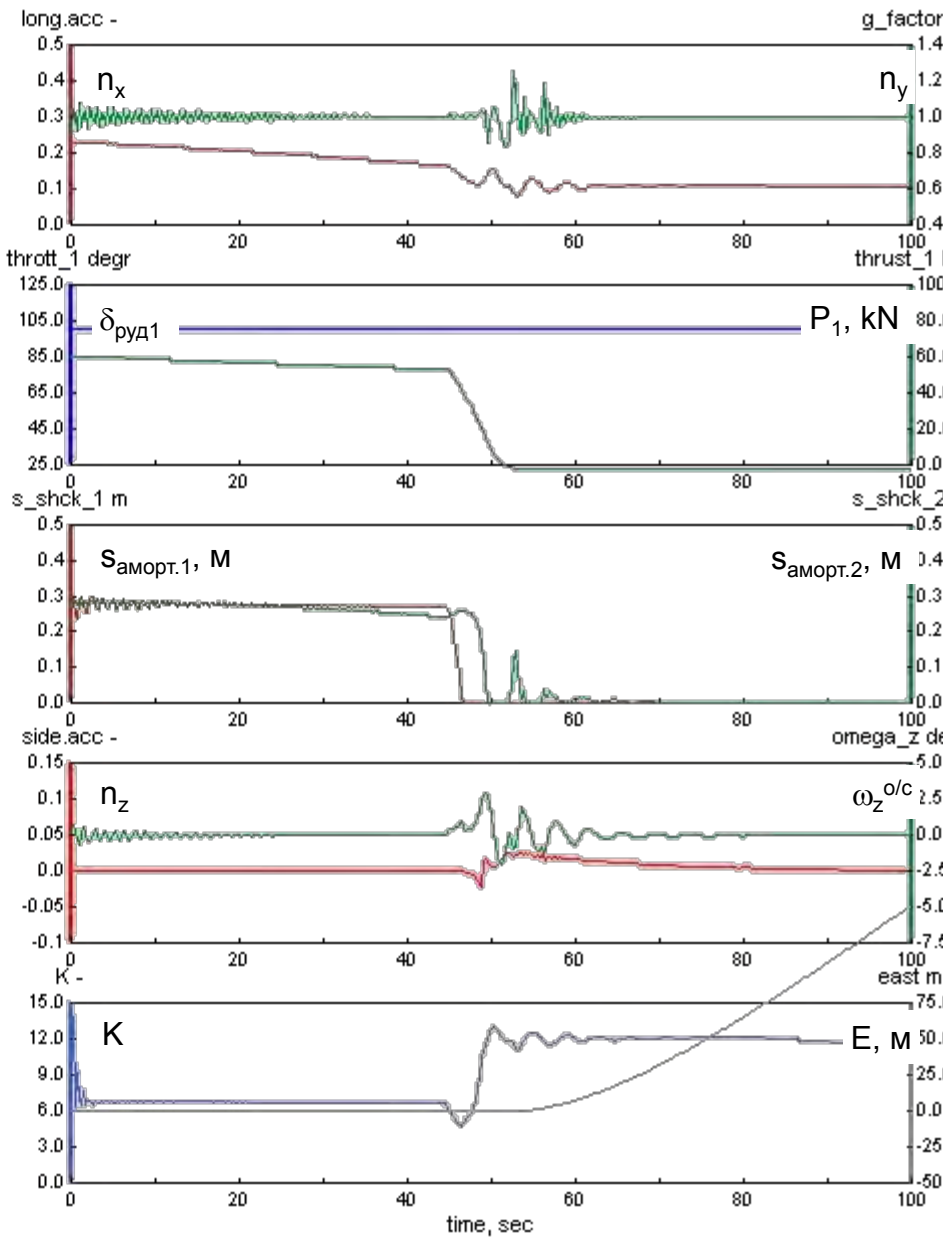
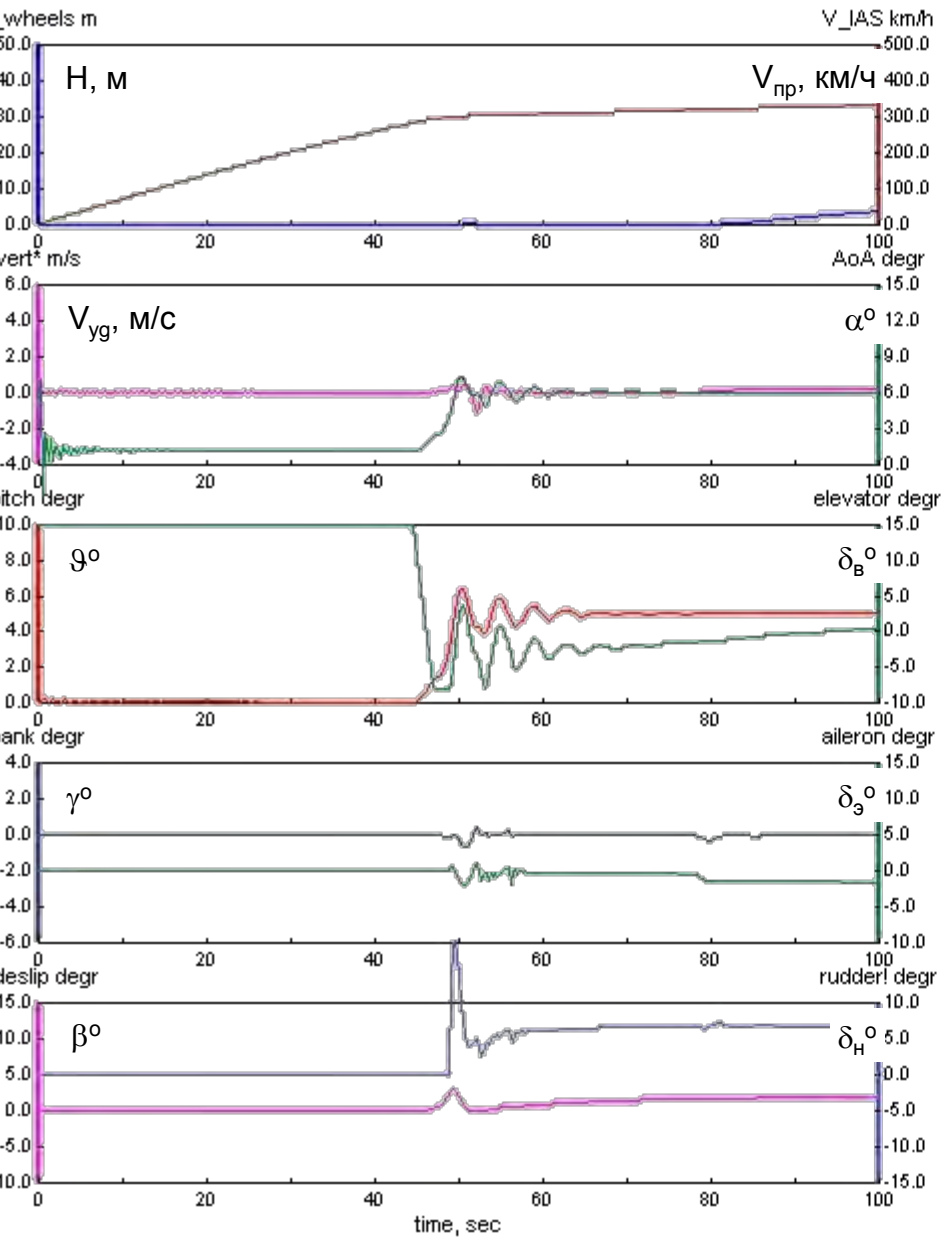
**Результаты моделирования
семейства ситуаций №5 “Продолженный взлёт
при вариациях располагаемой взлётной тяги
от 100 до 90% и целевом угле тангажа
после отрыва, равном 5° ”**



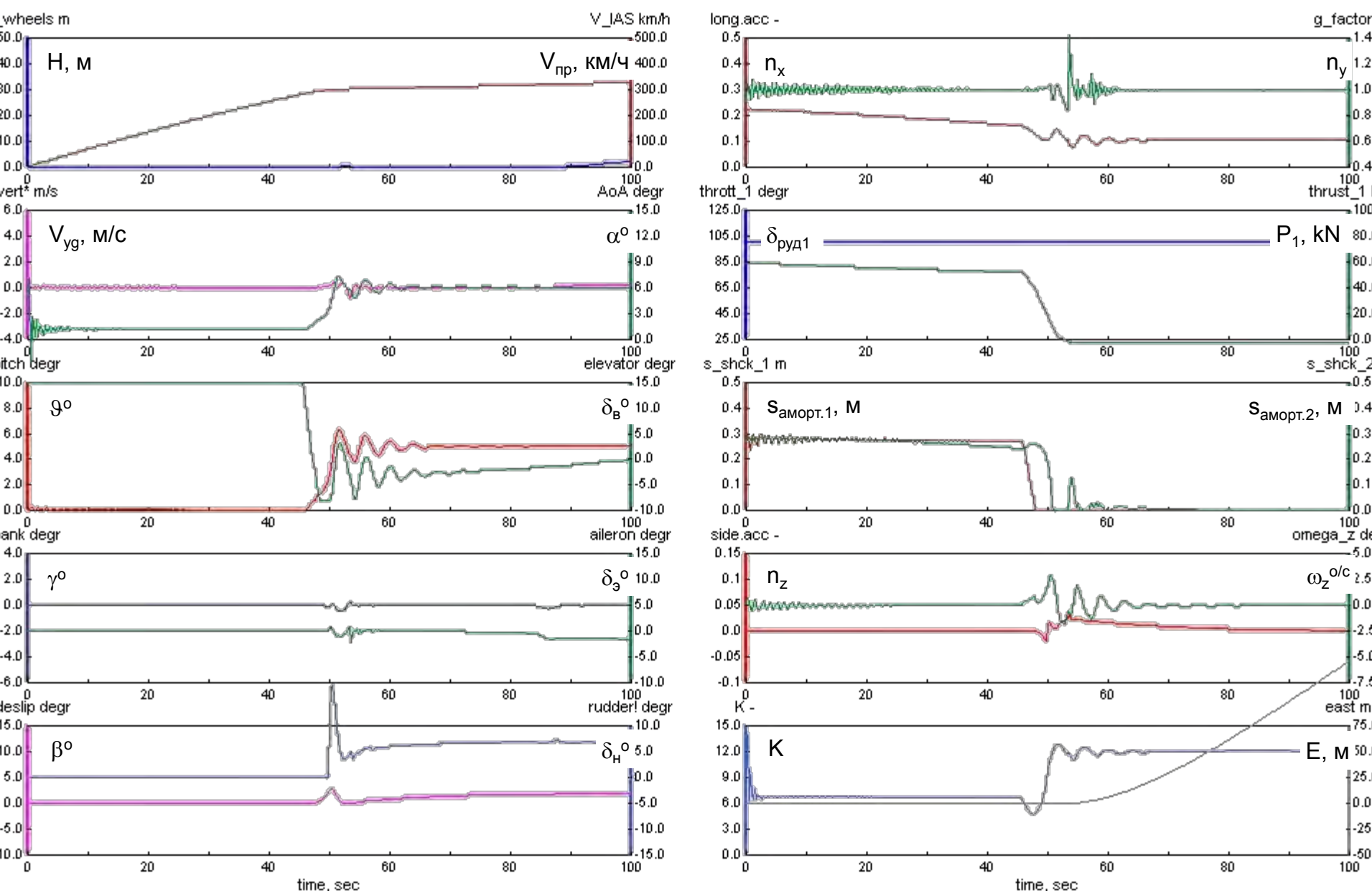
100/5: $\bar{P} = 100\%$, $\mathcal{G}_{\text{càà}} = 5^\circ$



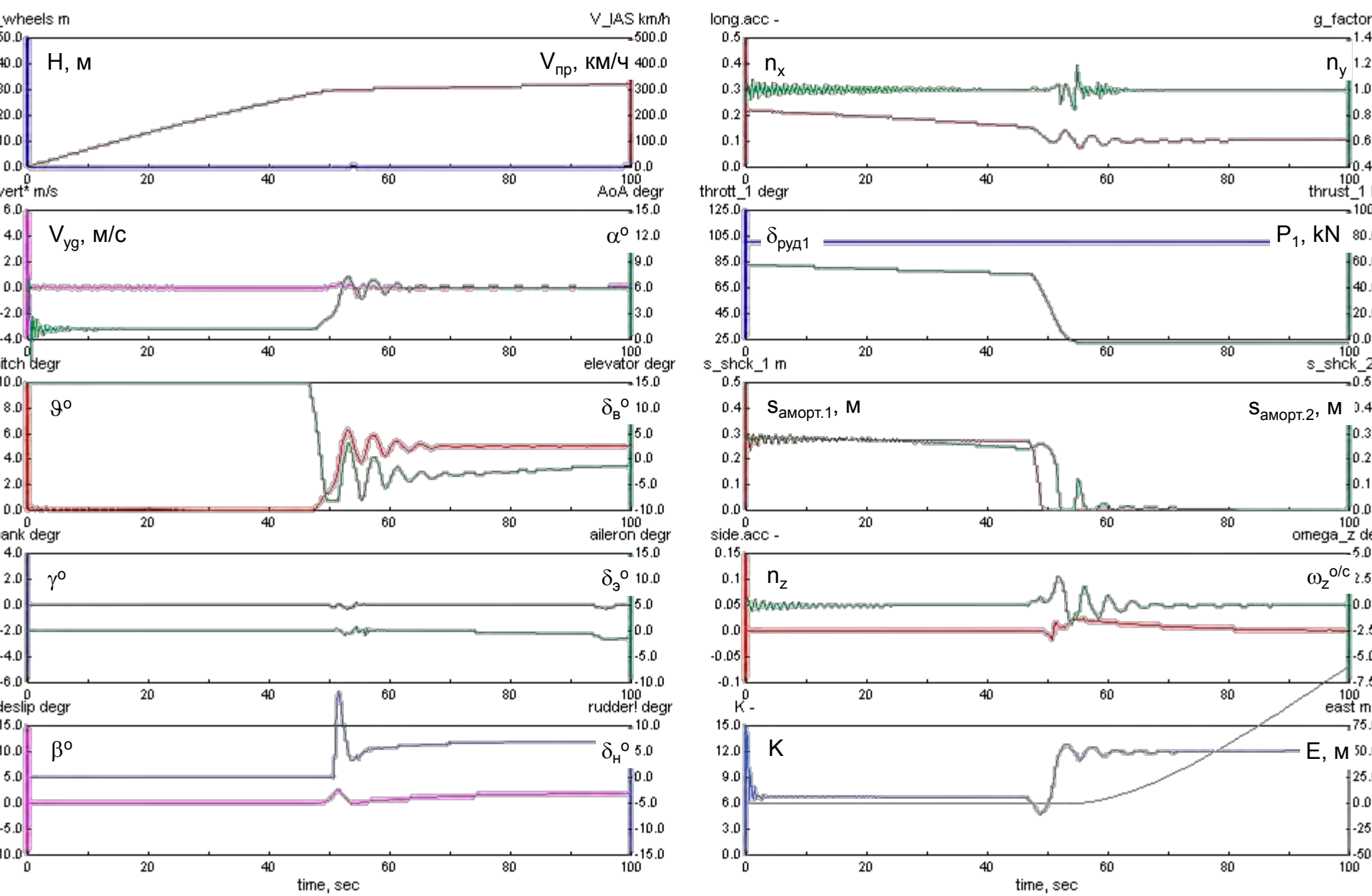
98/5: $\bar{P} = 98\%$, $\mathcal{G}_{c\ddot{a}\ddot{a}} = 5^\circ$



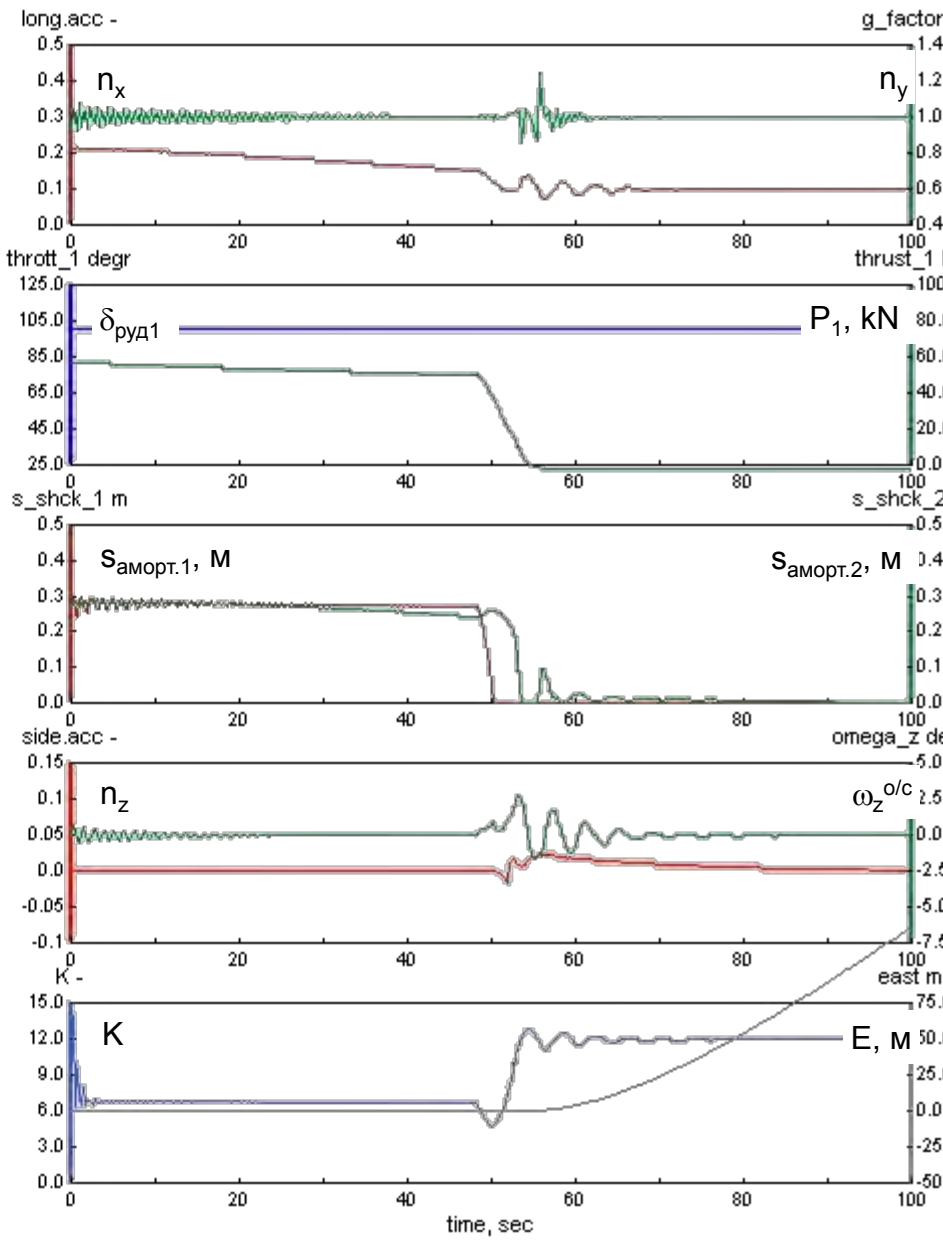
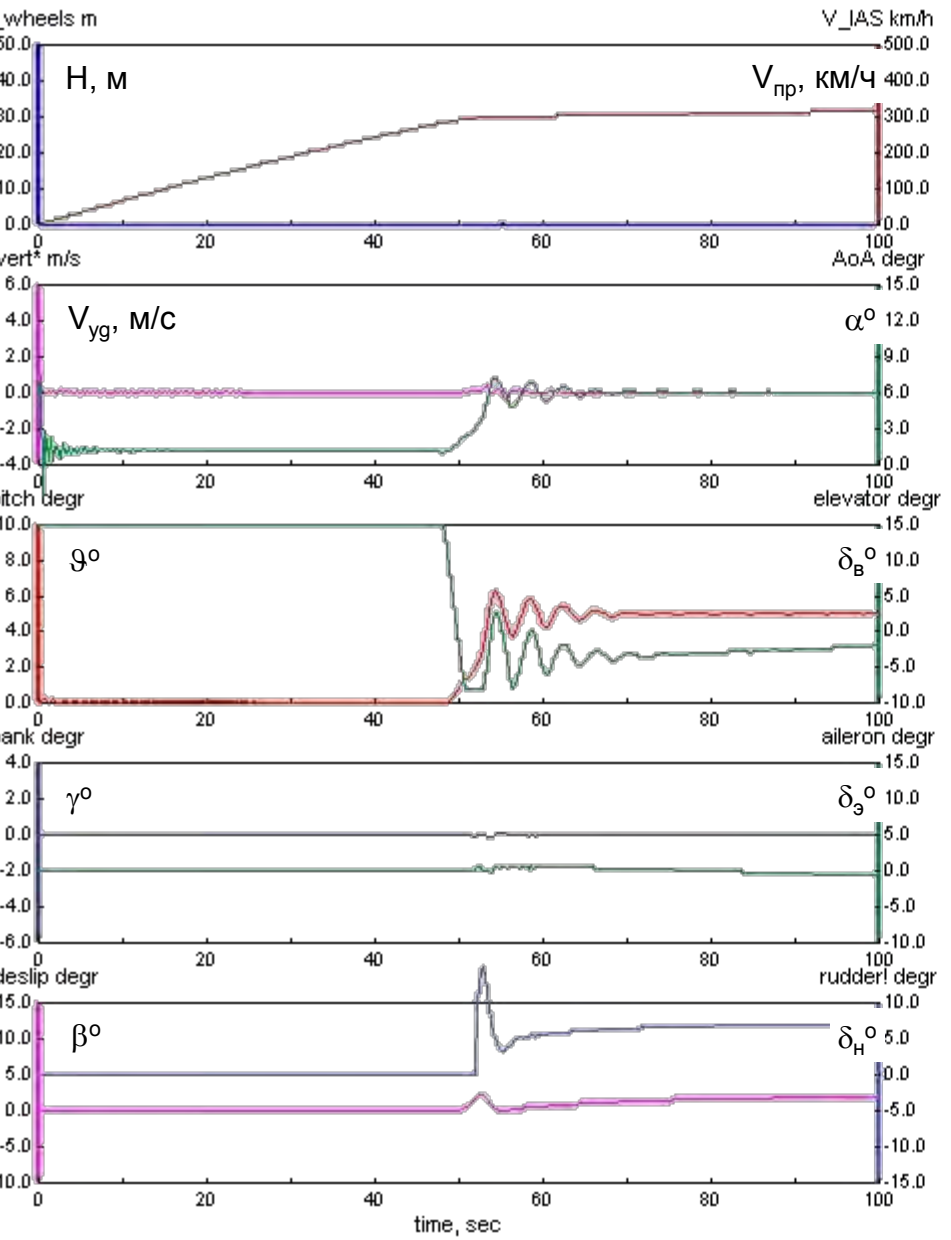
96/5: $\bar{P} = 96\%$, $\vartheta_{\text{càà}} = 5^\circ$



$$94/5: \bar{P} = 94\%, \mathcal{G}_{\zeta\ddot{a}\ddot{a}} = 5^\circ$$

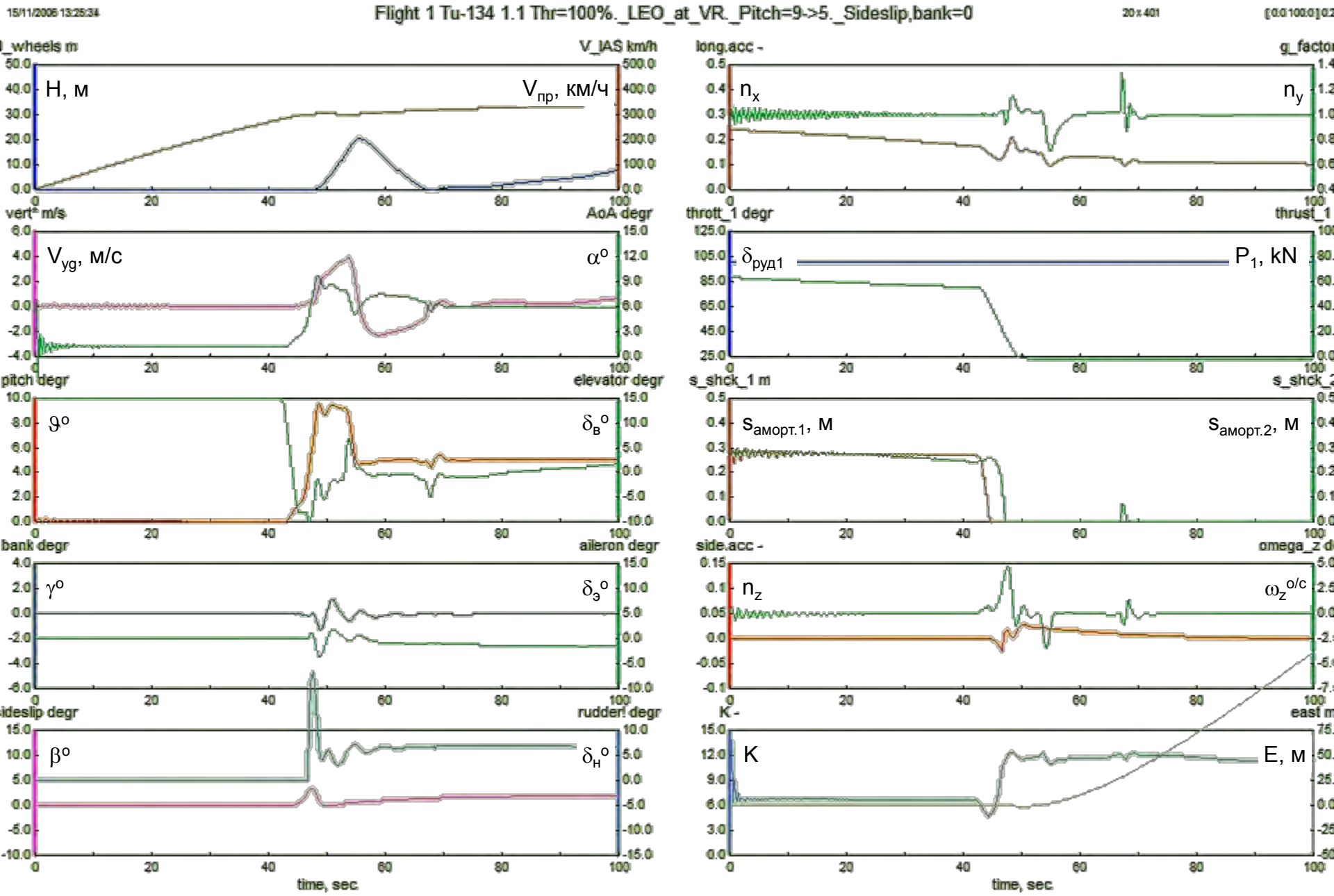


92/5: $\bar{P} = 92\%$, $\mathcal{G}_{c\ddot{a}\ddot{a}} = 5^\circ$

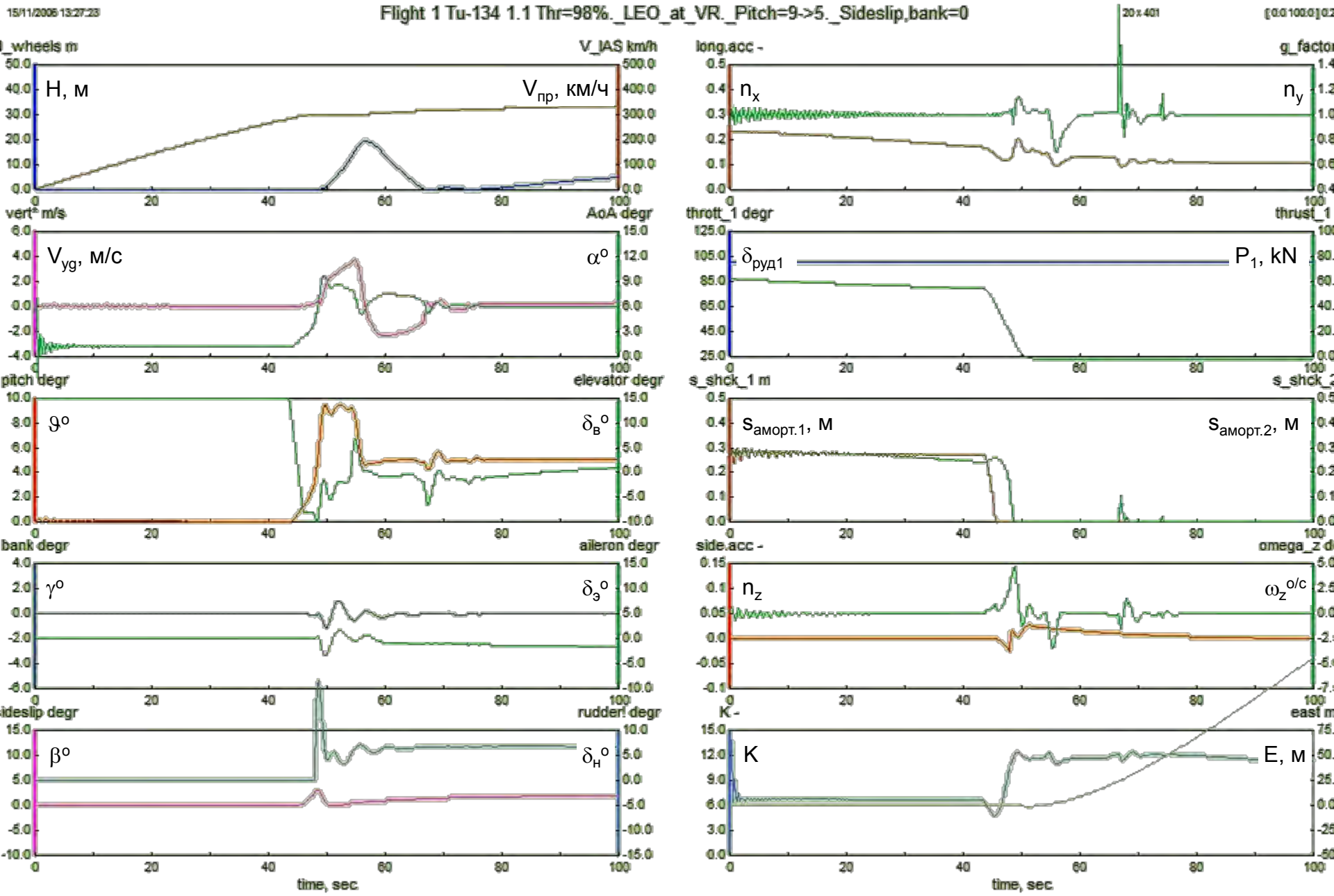


90/5: $\bar{P} = 90\%$, $\mathcal{G}_{c\ddot{a}\ddot{a}} = 5^\circ$

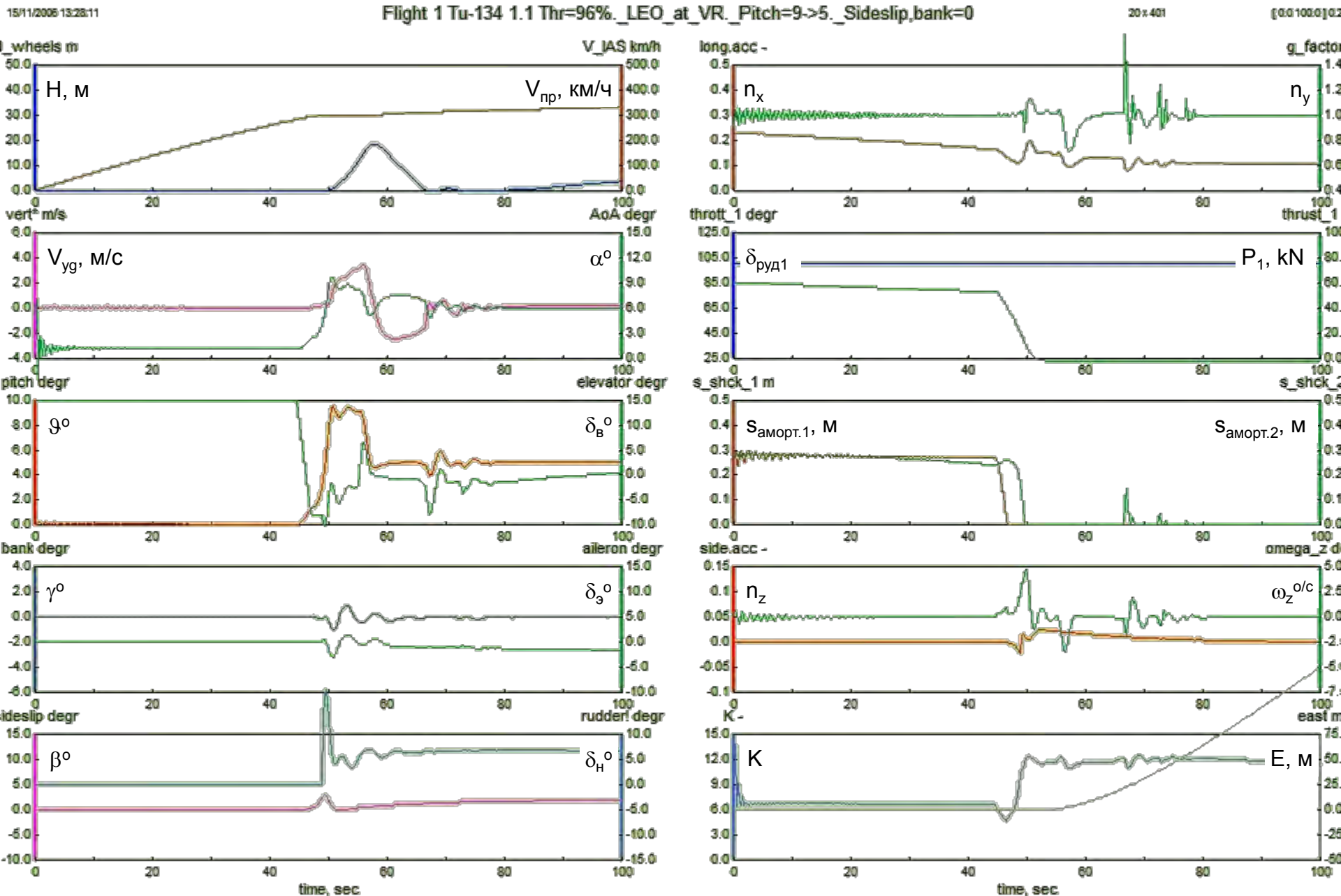
**Результаты моделирования
семейства ситуаций №6 “Продолженный взлёт
при вариациях располагаемой взлётной тяги
от 100 до 80% и программе изменения
целевого угла тангажа после отрыва $9^\circ \rightarrow 5^\circ$ ”**



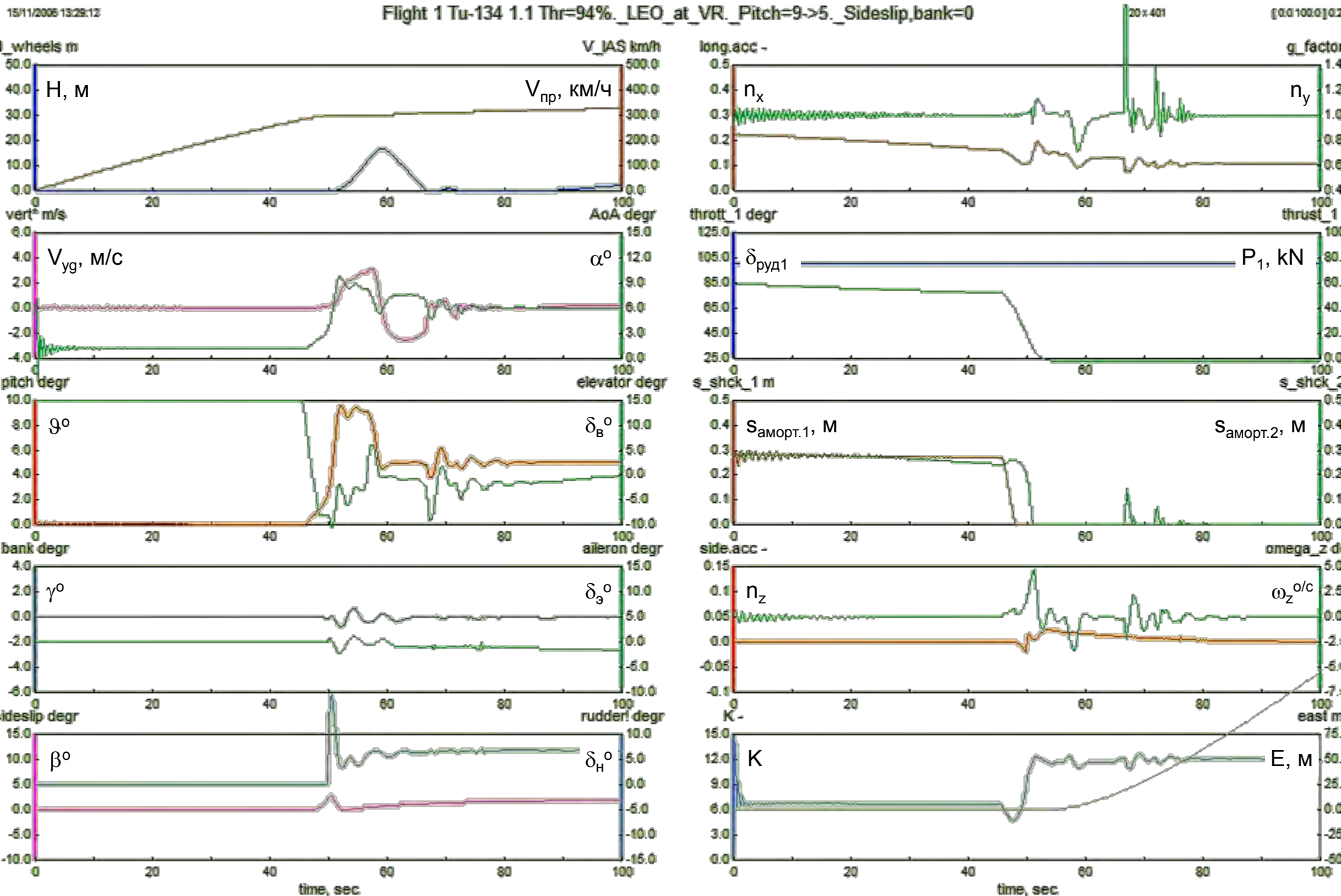
$$100/9 \rightarrow 5: \bar{P} = 100\%, \mathcal{G}_{\zeta\ddot{a}\ddot{a}} = 9^\circ \rightarrow 5^\circ$$



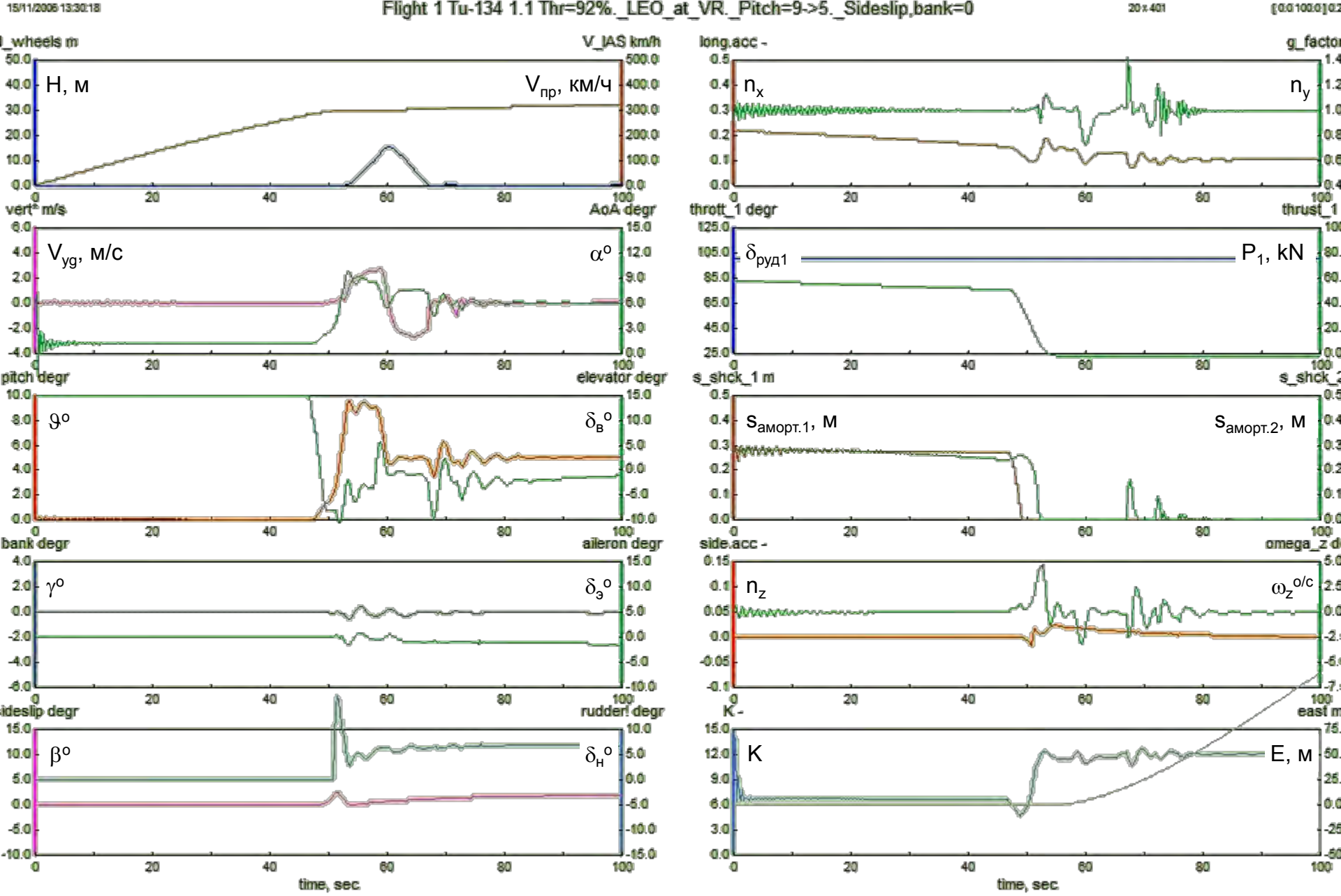
$98/9 \rightarrow 5: \bar{P} = 98\%, \mathcal{G}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} = 9^\circ \rightarrow 5^\circ$



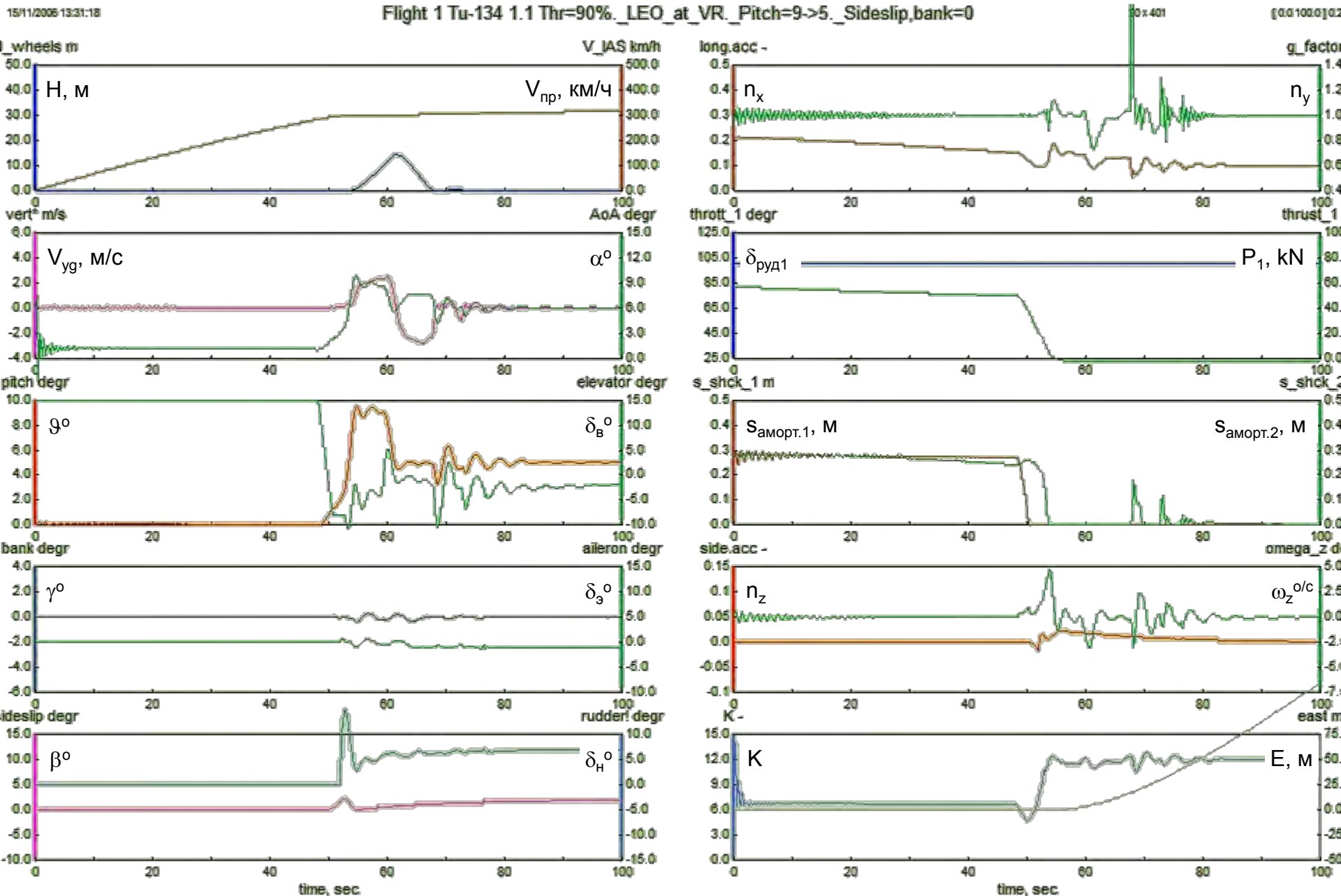
$$96/9 \rightarrow 5: \bar{P} = 96\%, \mathcal{G}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} = 9^\circ \rightarrow 5^\circ$$



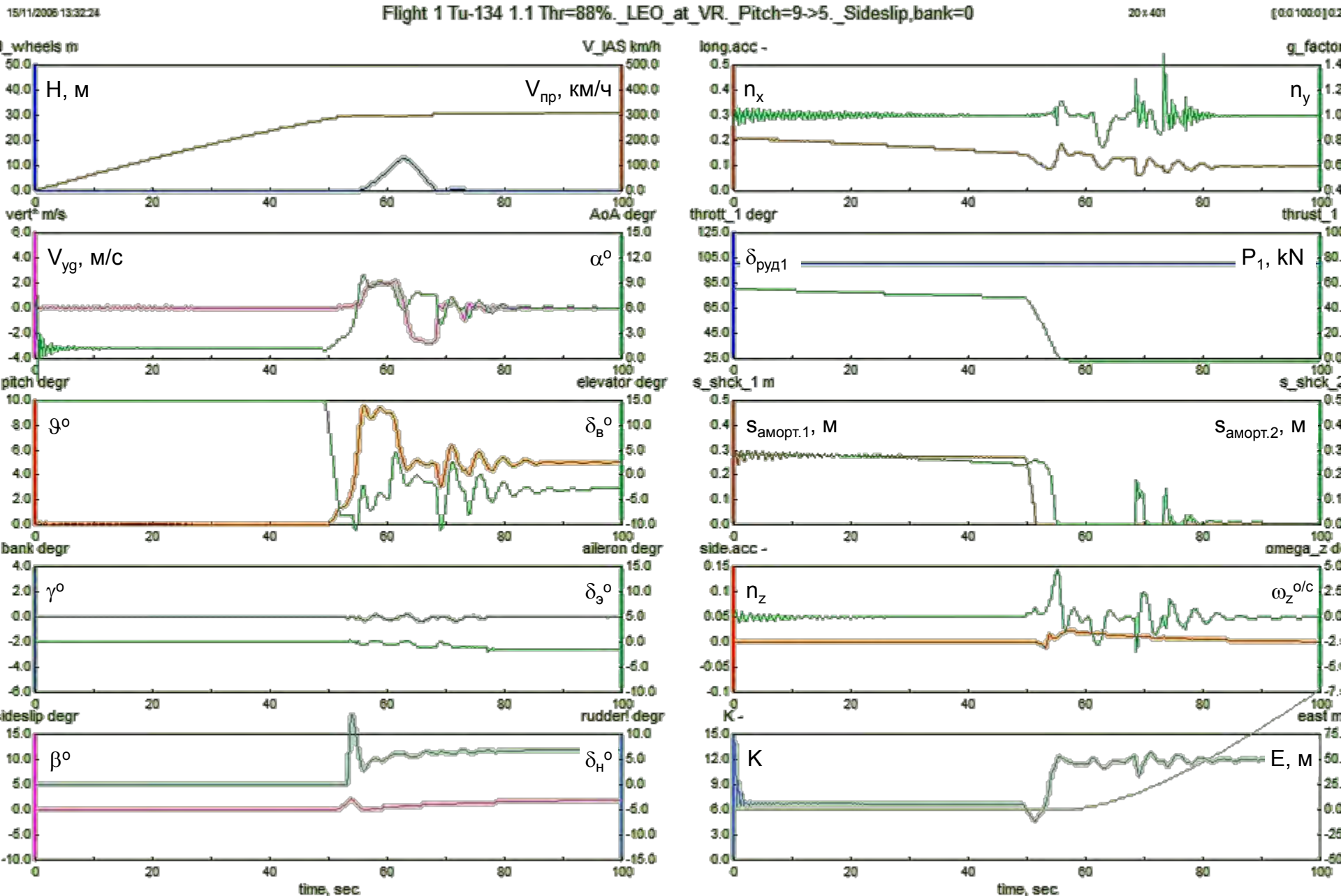
$$94/9 \rightarrow 5: \bar{P} = 94\%, \mathcal{G}_{\zeta\ddot{a}\ddot{a}} = 9^\circ \rightarrow 5^\circ$$



$$92/9 \rightarrow 5: \bar{P} = 92\%, \mathcal{G}_{\text{çàä}} = 9^\circ \rightarrow 5^\circ$$

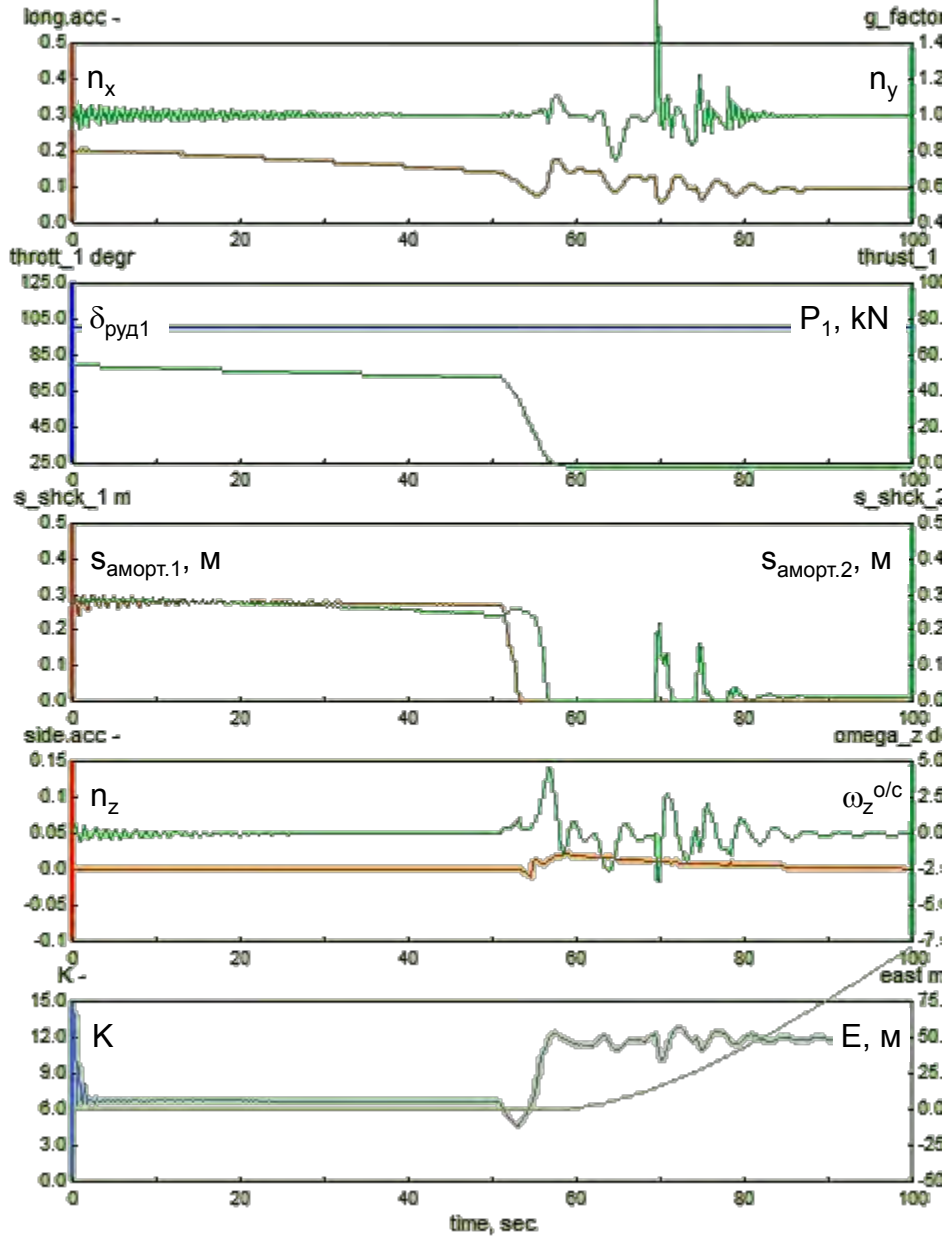
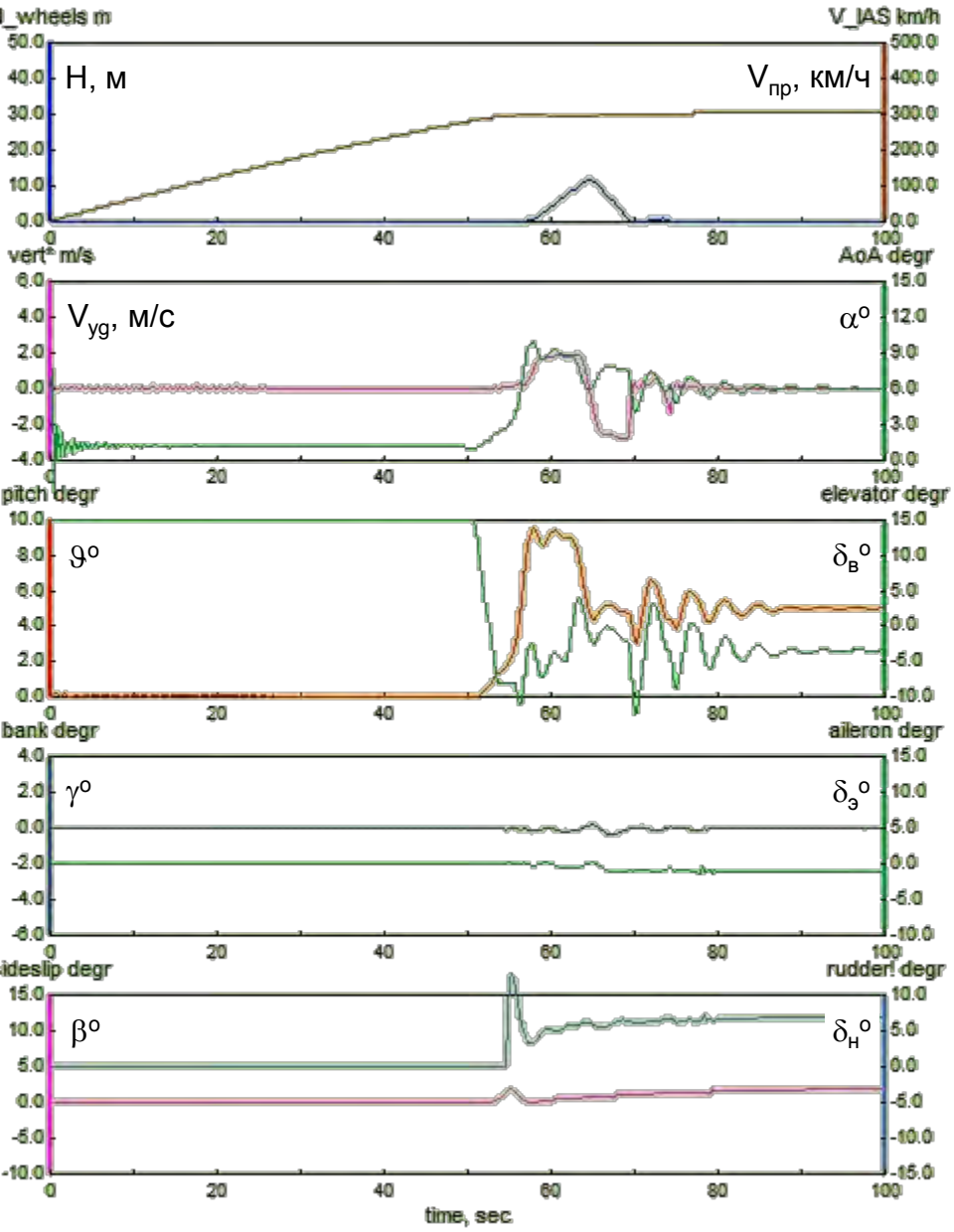


$$90/9 \rightarrow 5: \bar{P} = 90\%, \mathcal{G}_{\text{çàä}} = 9^\circ \rightarrow 5^\circ$$

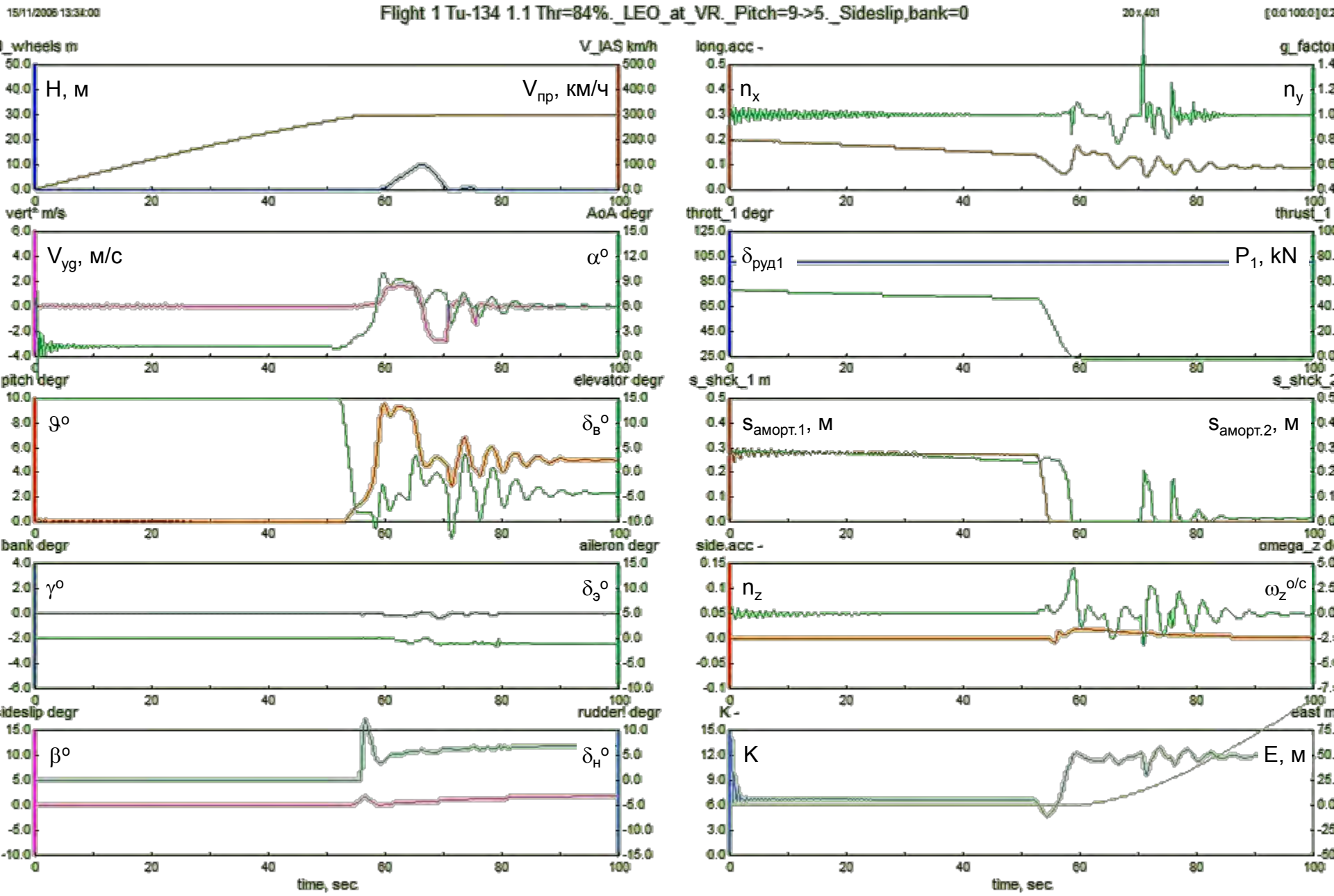


$$88/9 \rightarrow 5: \bar{P} = 88\%, \mathcal{G}_{\dot{\alpha}\ddot{\alpha}} = 9^\circ \rightarrow 5^\circ$$

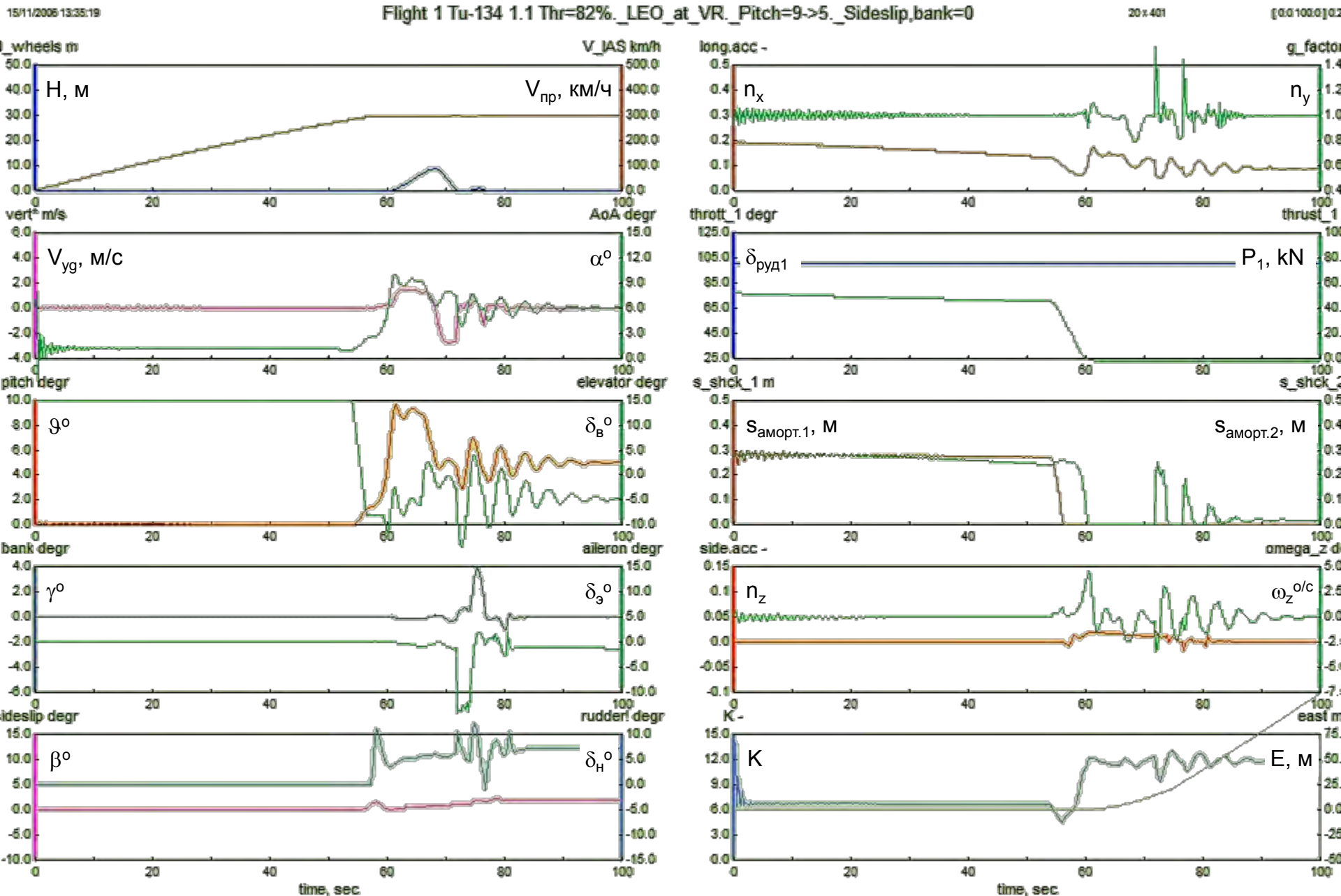
Flight 1 Tu-134 1.1 Thr=86%._LEO_at_VR_Pitch=9->5._Sideslip,bank=0



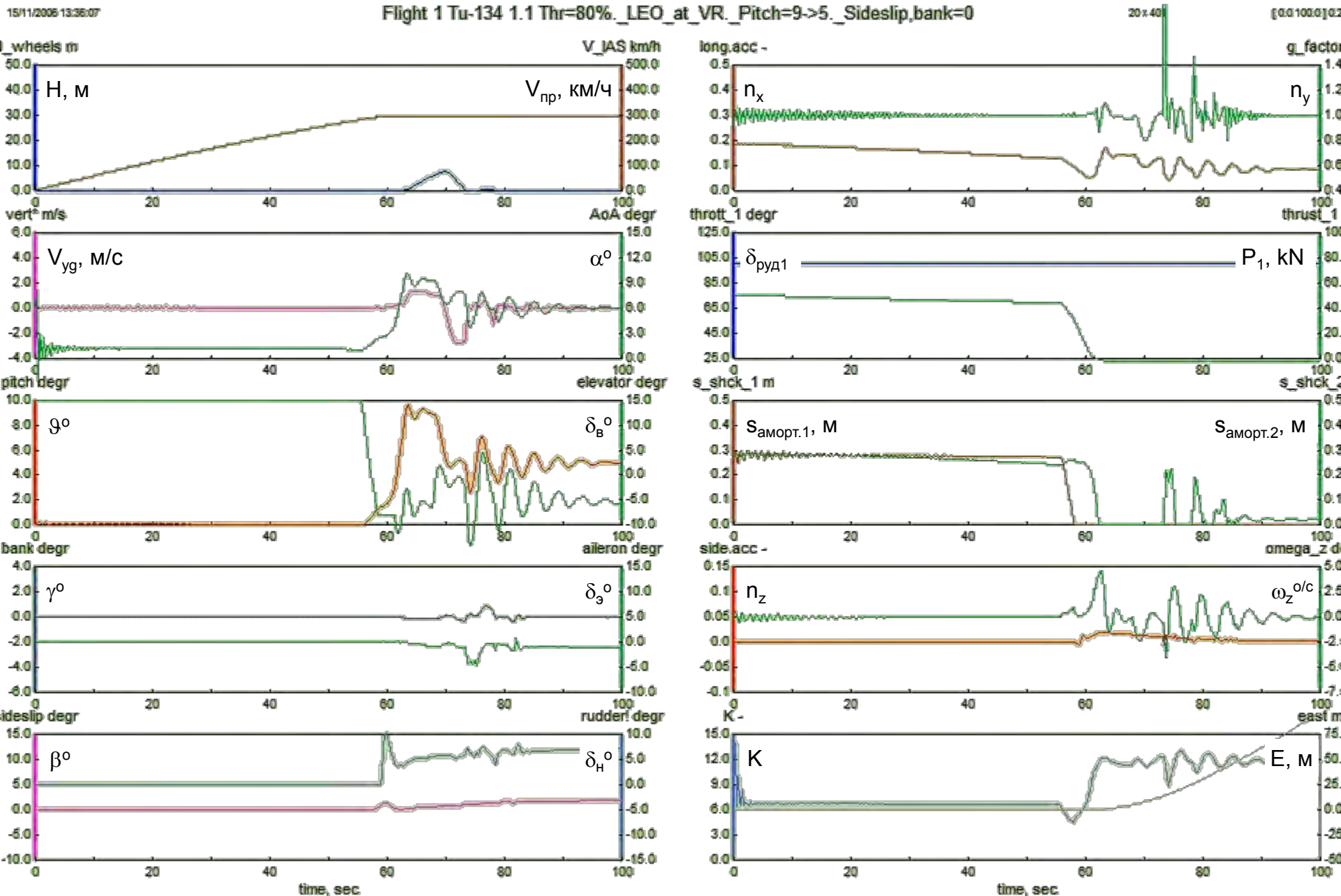
$$86/9 \rightarrow 5: \bar{P} = 86\%, \vartheta_{\zeta\ddot{a}i} = 9^\circ \rightarrow 5^\circ$$



$$84/9 \rightarrow 5: \bar{P} = 84\%, \mathcal{G}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} = 9^\circ \rightarrow 5^\circ$$

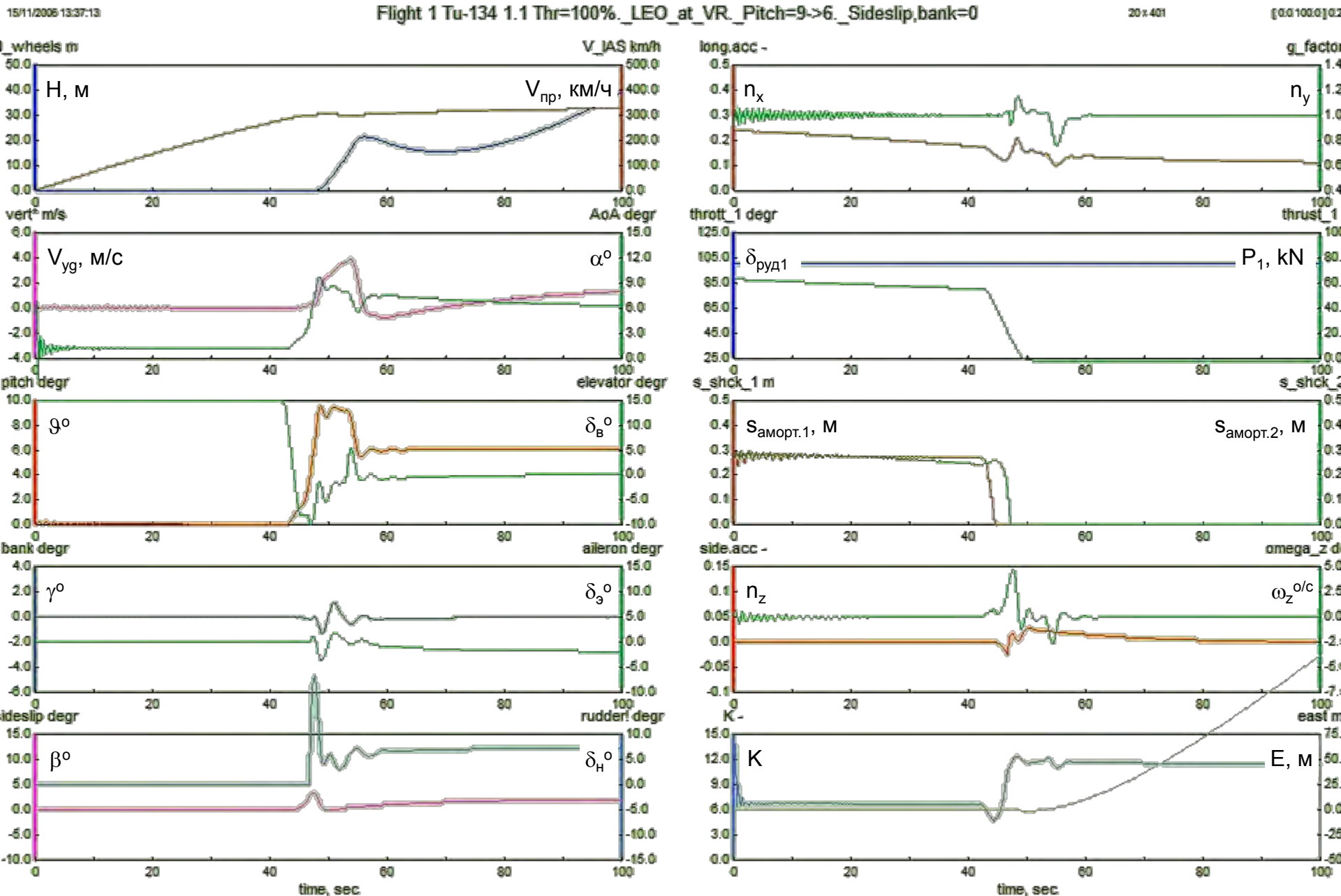


82/9 → 5: $\bar{P} = 82\%$, $\mathcal{G}_{\dot{\alpha}\dot{\beta}} = 9^\circ \rightarrow 5^\circ$

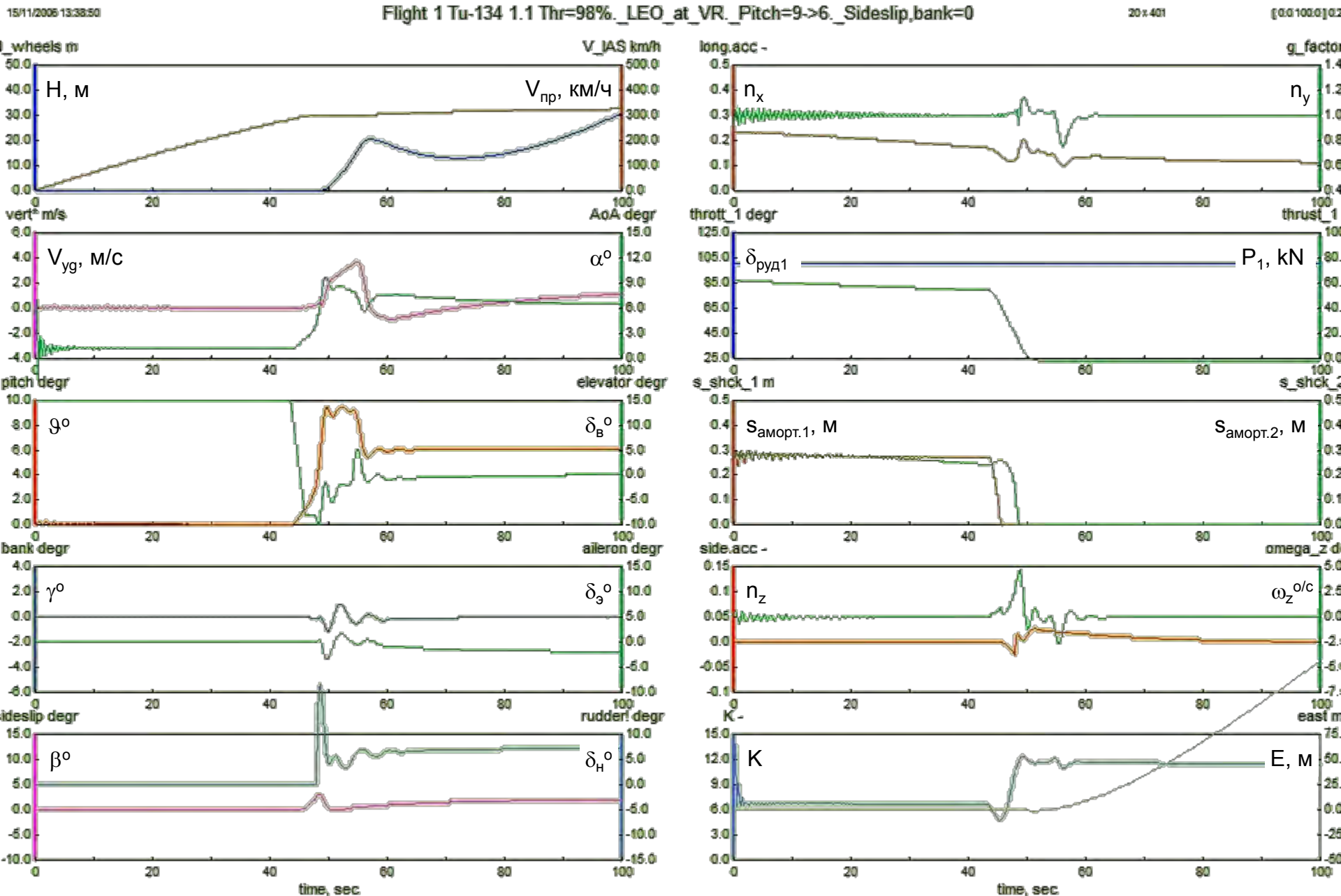


$$80/9 \rightarrow 5: \bar{P} = 80\%, \mathcal{P}_{\zeta\ddot{a}i} = 9^\circ \rightarrow 5^\circ$$

**Результаты моделирования
семейства ситуаций №7 “Продолженный взлёт
при вариациях располагаемой взлётной тяги
от 100 до 80% и программе изменения
целевого угла тангажа после отрыва $9^\circ \rightarrow 6^\circ$ ”**



100/9 → 6: $\bar{P} = 100\%$, $\mathcal{G}_{\dot{\alpha}\ddot{\alpha}} = 9^\circ \rightarrow 6^\circ$



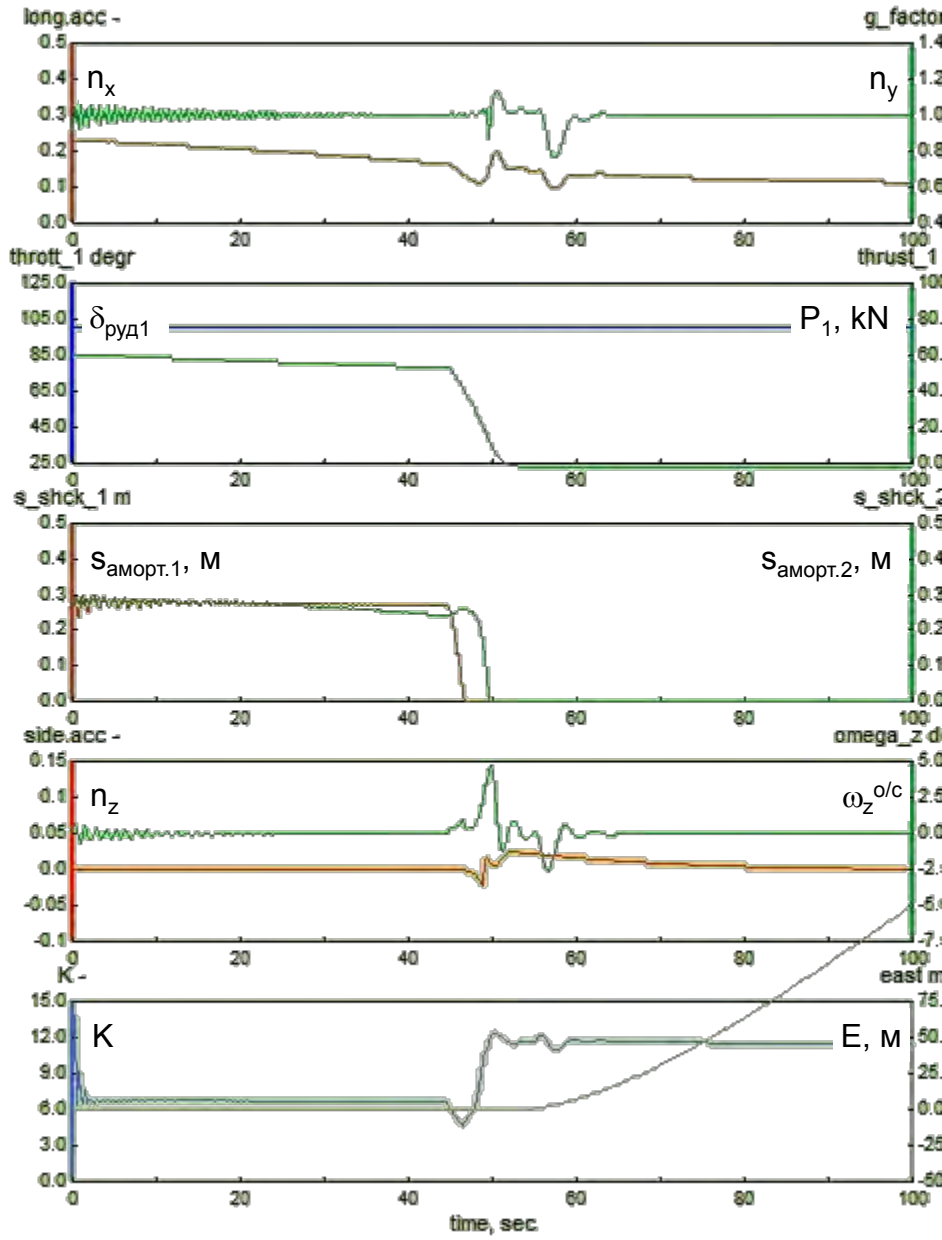
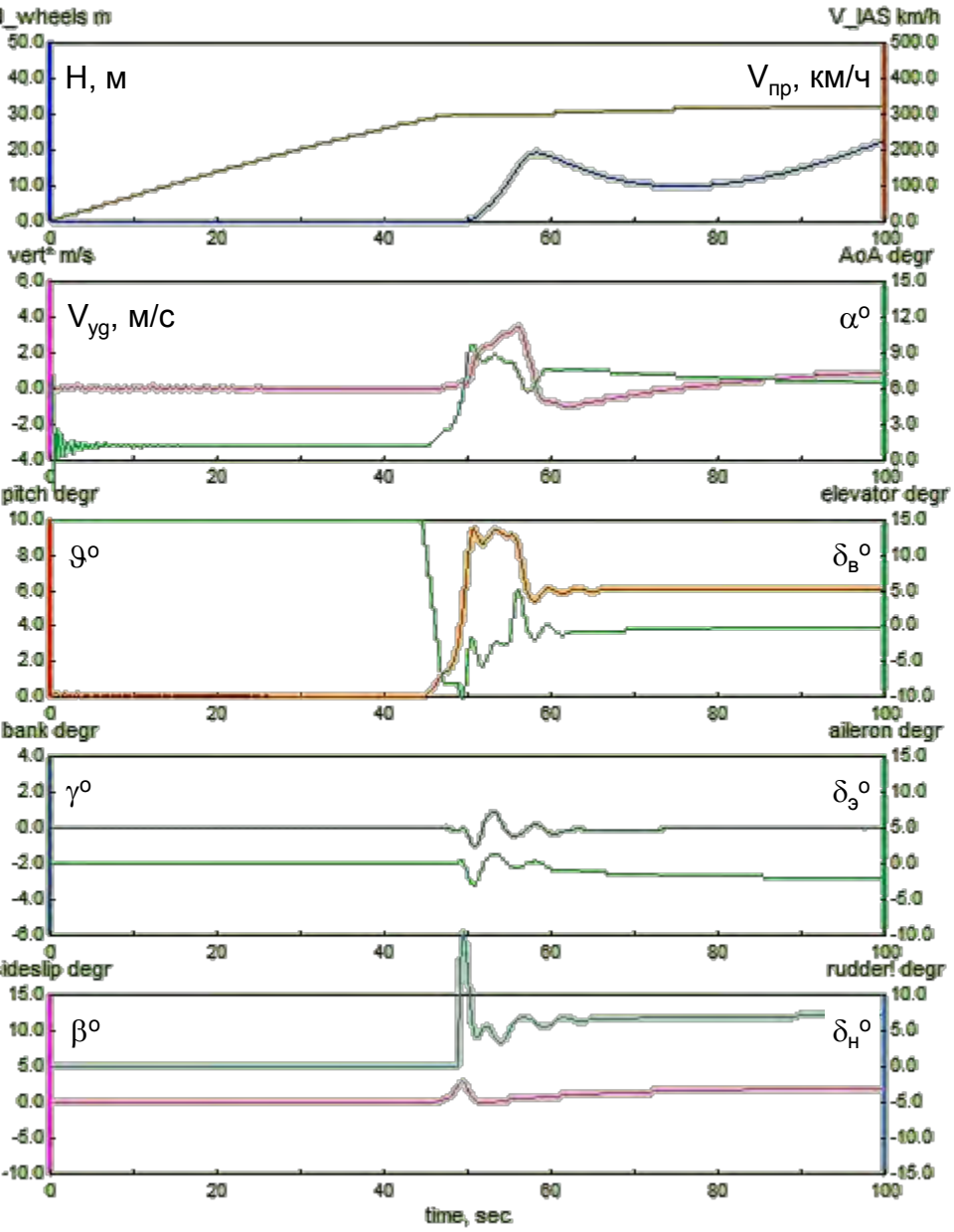
$$98/9 \rightarrow 6: \bar{P} = 98\%, \mathcal{G}_{\text{çàä}} = 9^\circ \rightarrow 6^\circ$$

15/11/2005 13:40:09

Flight 1 Tu-134 1.1 Thr=96%_LEO_at_VR_Pitch=9->6_Sideslip,bank=0

20 x 401

[00100.0]02



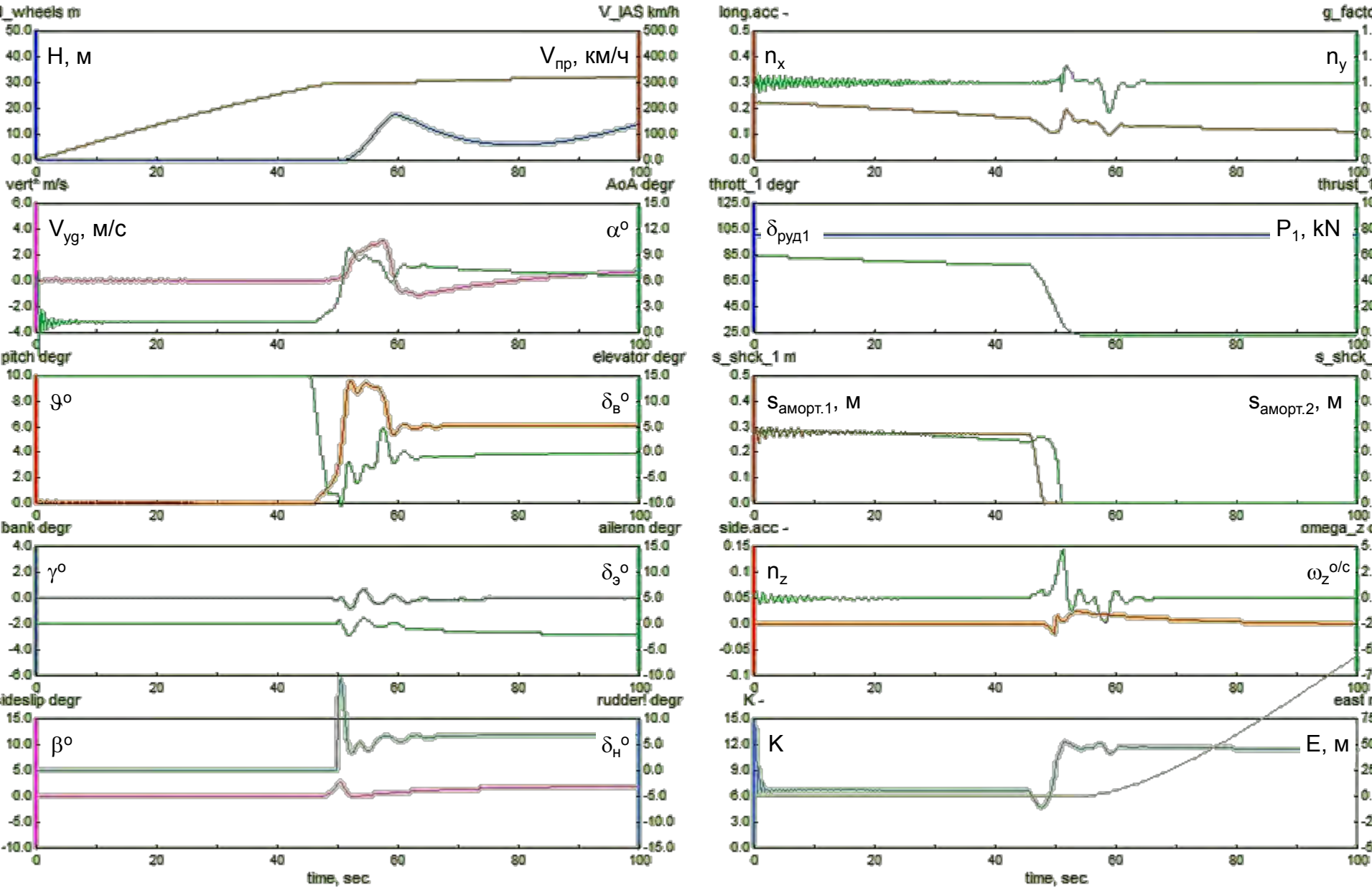
$$96/9 \rightarrow 6: \bar{P} = 96\%, \mathcal{G}_{\text{çàä}} = 9^\circ \rightarrow 6^\circ$$

15/11/2005 13:40:49

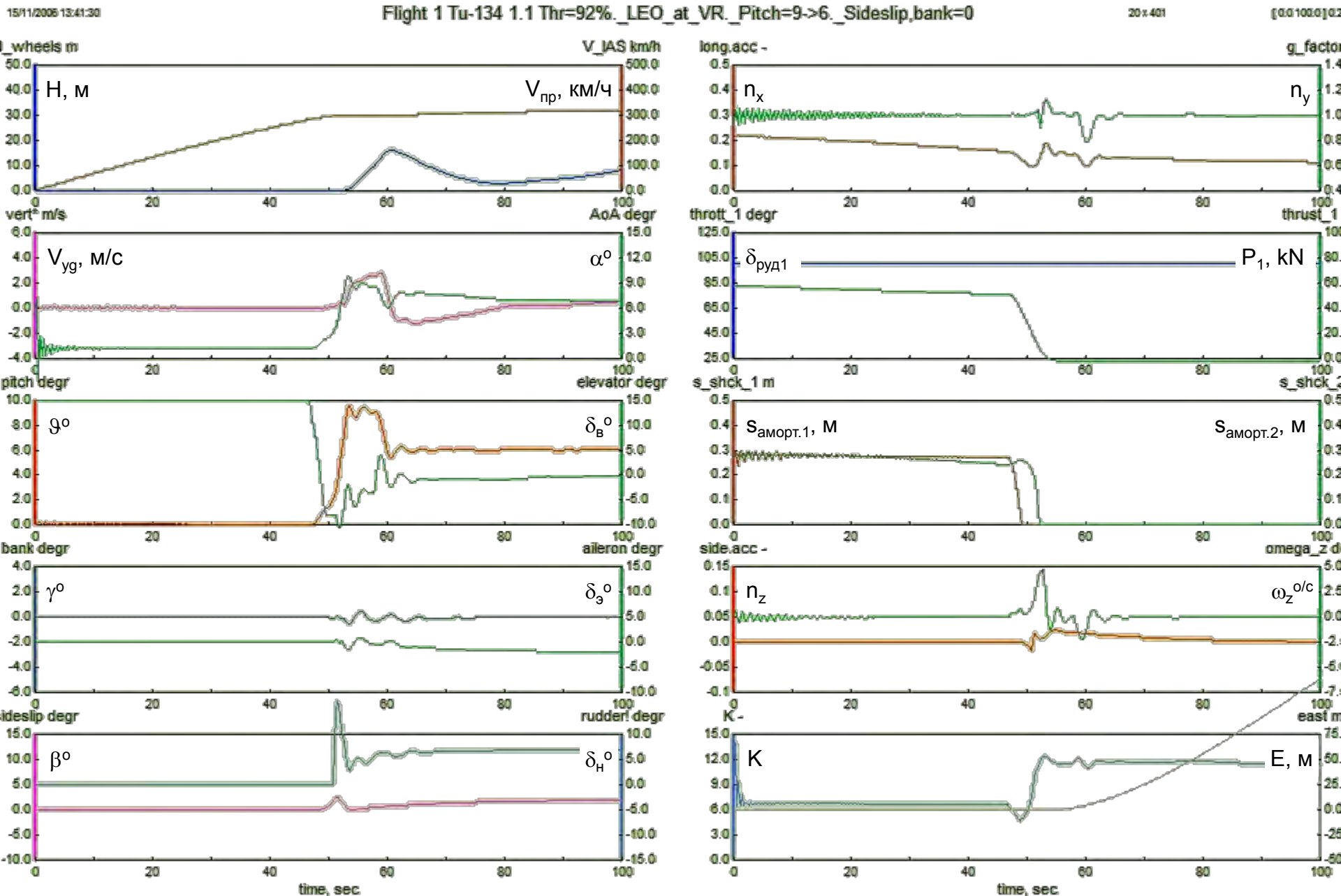
Flight 1 Tu-134 1.1 Thr=94%._LEO_at_VR_Pitch=9->6._Sideslip,bank=0

20 x 401

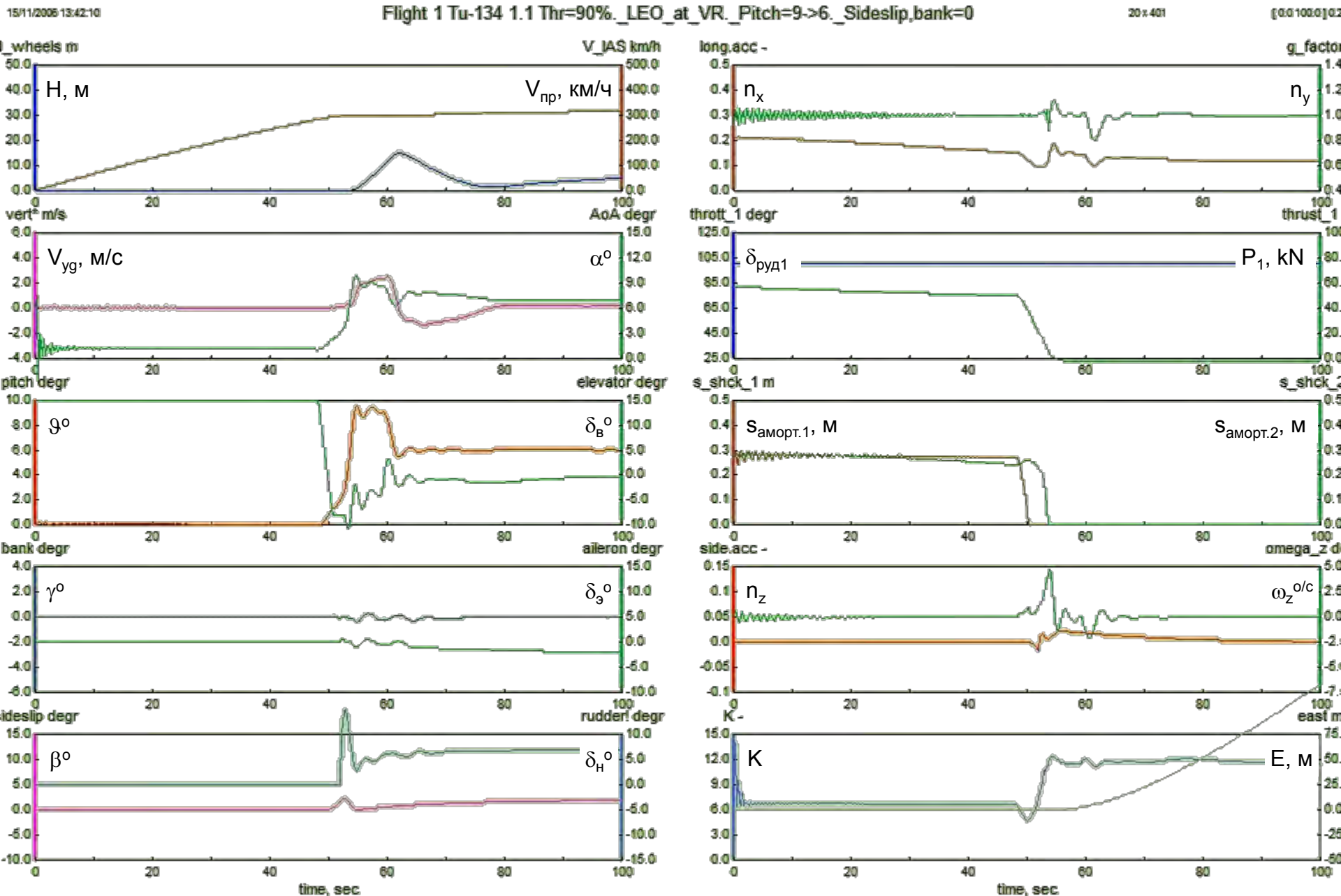
[00100.0]02



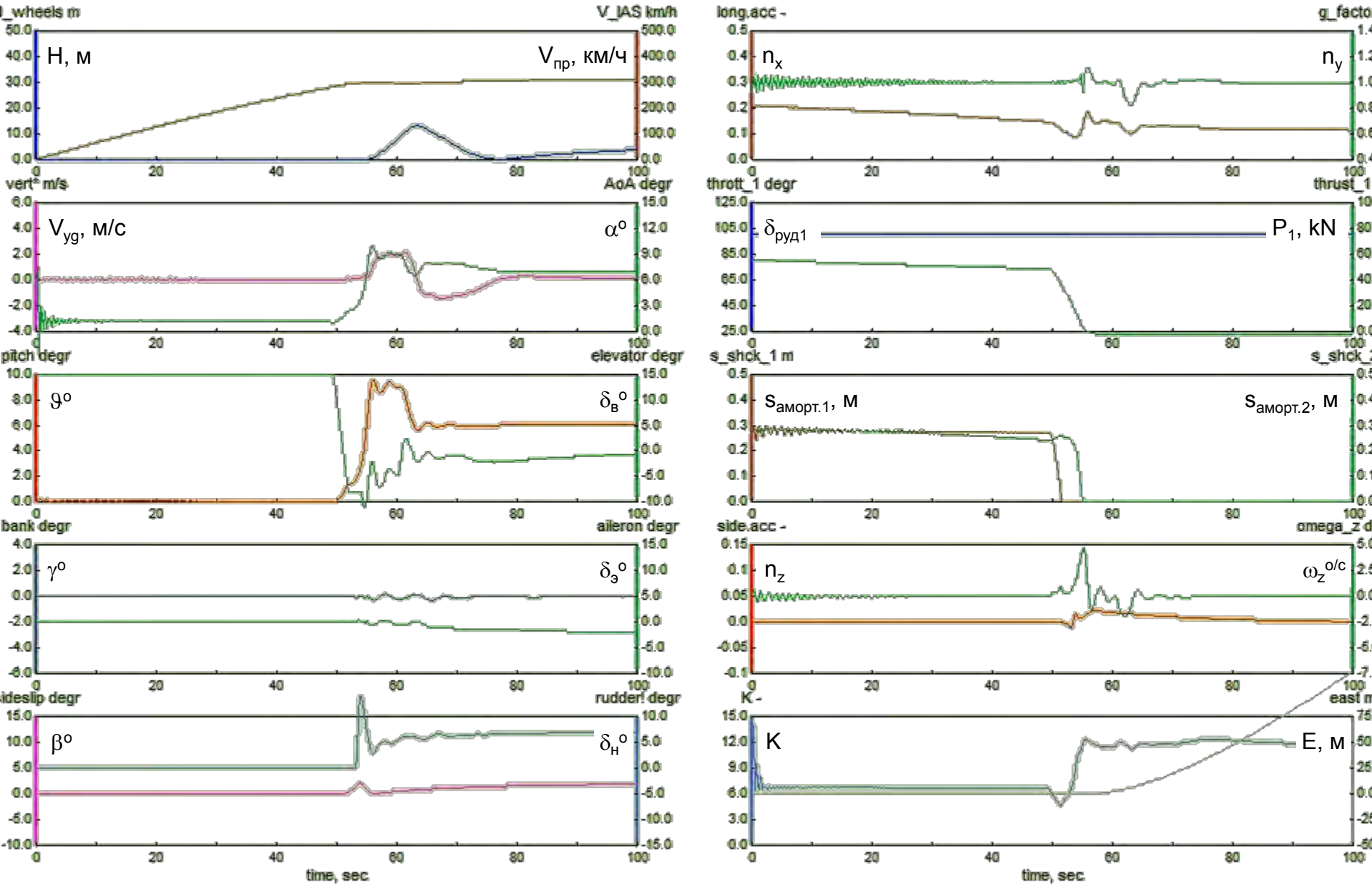
$$94/9 \rightarrow 6: \bar{P} = 94\%, \mathcal{G}_{\zeta\ddot{a}i} = 9^\circ \rightarrow 6^\circ$$



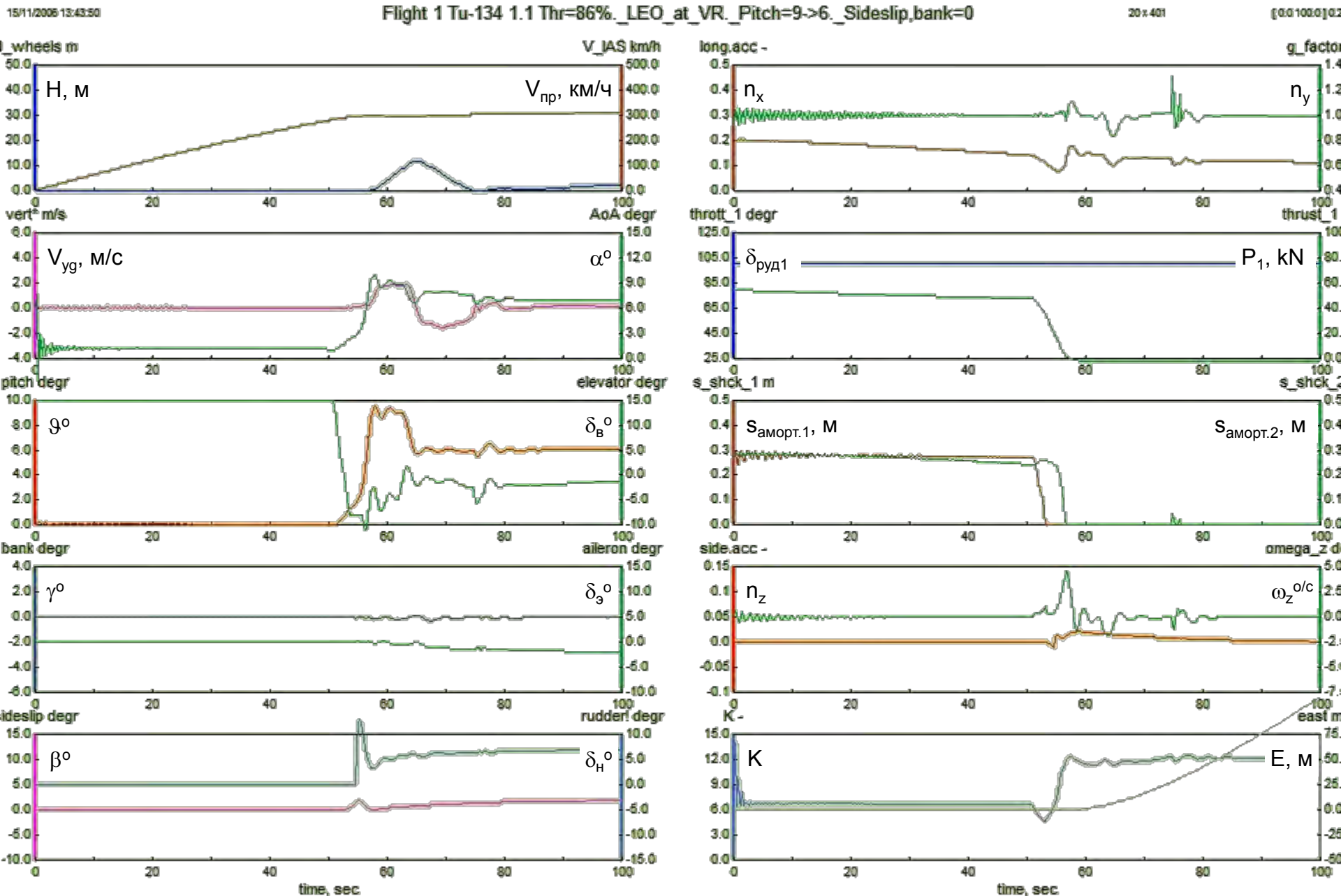
$$92/9 \rightarrow 6: \bar{P} = 92\%, \mathcal{G}_{\text{çàä}} = 9^\circ \rightarrow 6^\circ$$



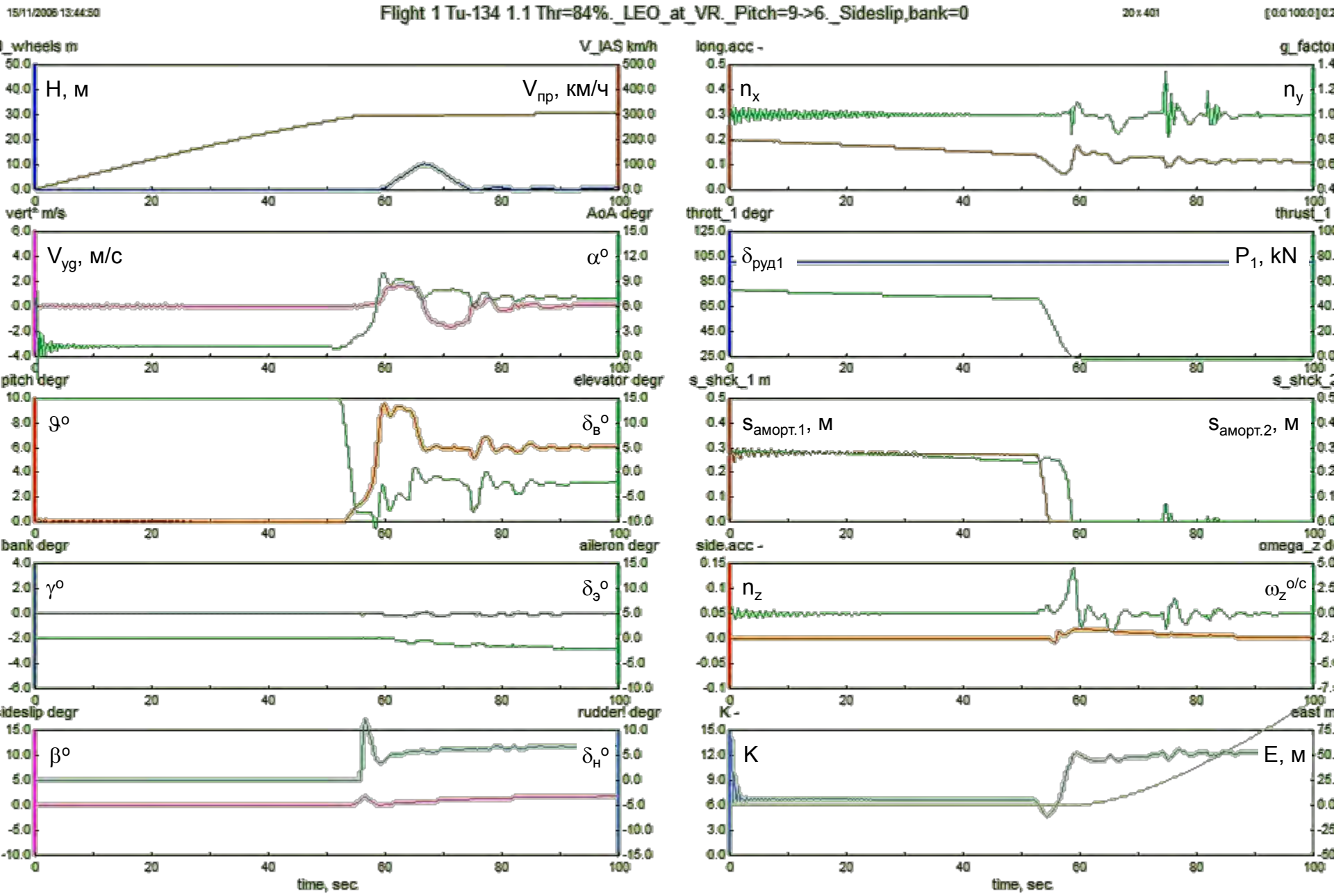
90/9 → 6: $\bar{P} = 90\%$, $\mathcal{G}_{\text{çàä}} = 9^\circ \rightarrow 6^\circ$



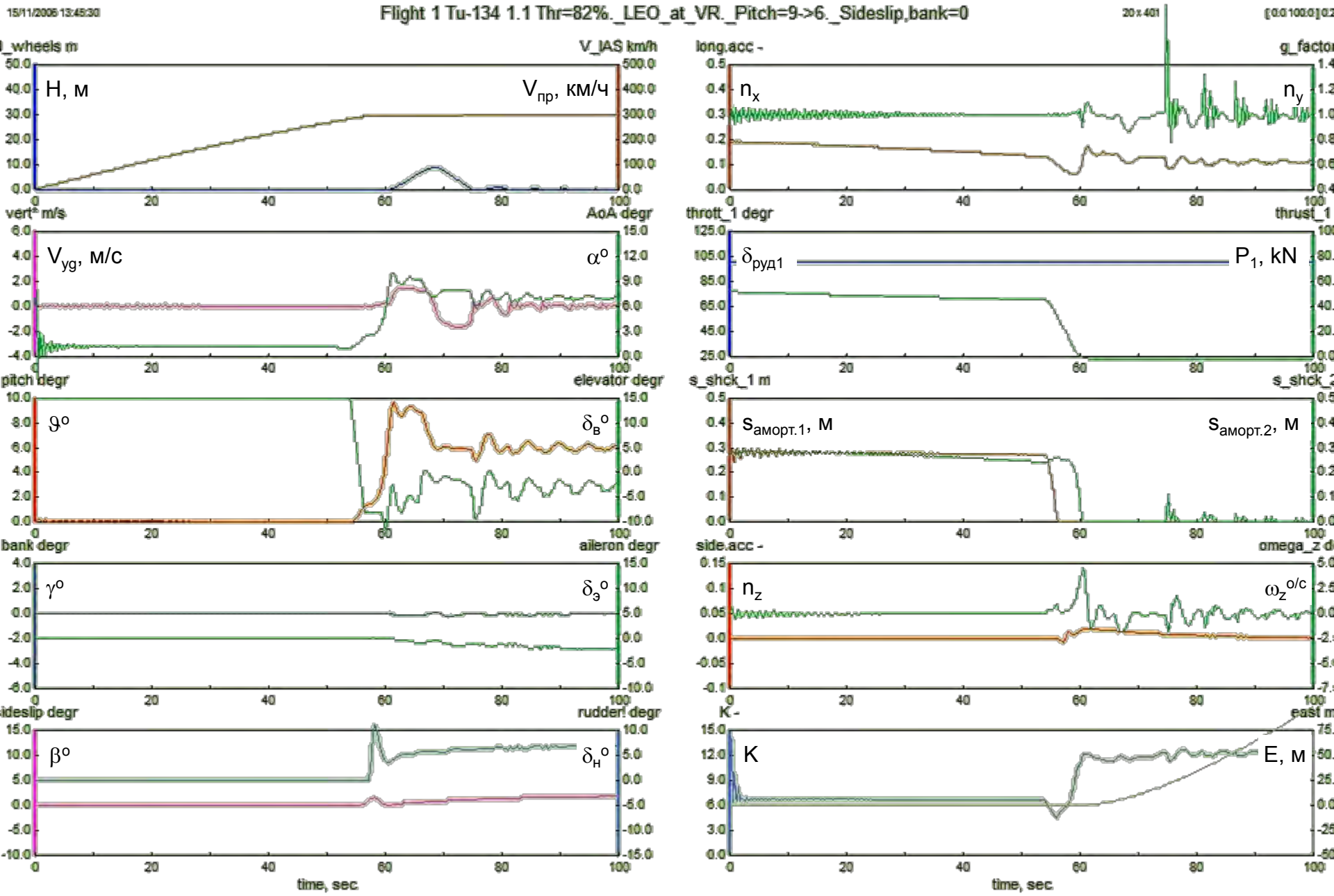
$$88/9 \rightarrow 6: \bar{P} = 88\%, \mathcal{G}_{\dot{\alpha}\ddot{\alpha}} = 9^\circ \rightarrow 6^\circ$$



$$86/9 \rightarrow 6: \bar{P} = 86\%, \mathcal{G}_{\text{çää}} = 9^\circ \rightarrow 6^\circ$$



$$84/9 \rightarrow 6: \bar{P} = 84\%, \mathcal{G}_{\text{çää}} = 9^\circ \rightarrow 6^\circ$$



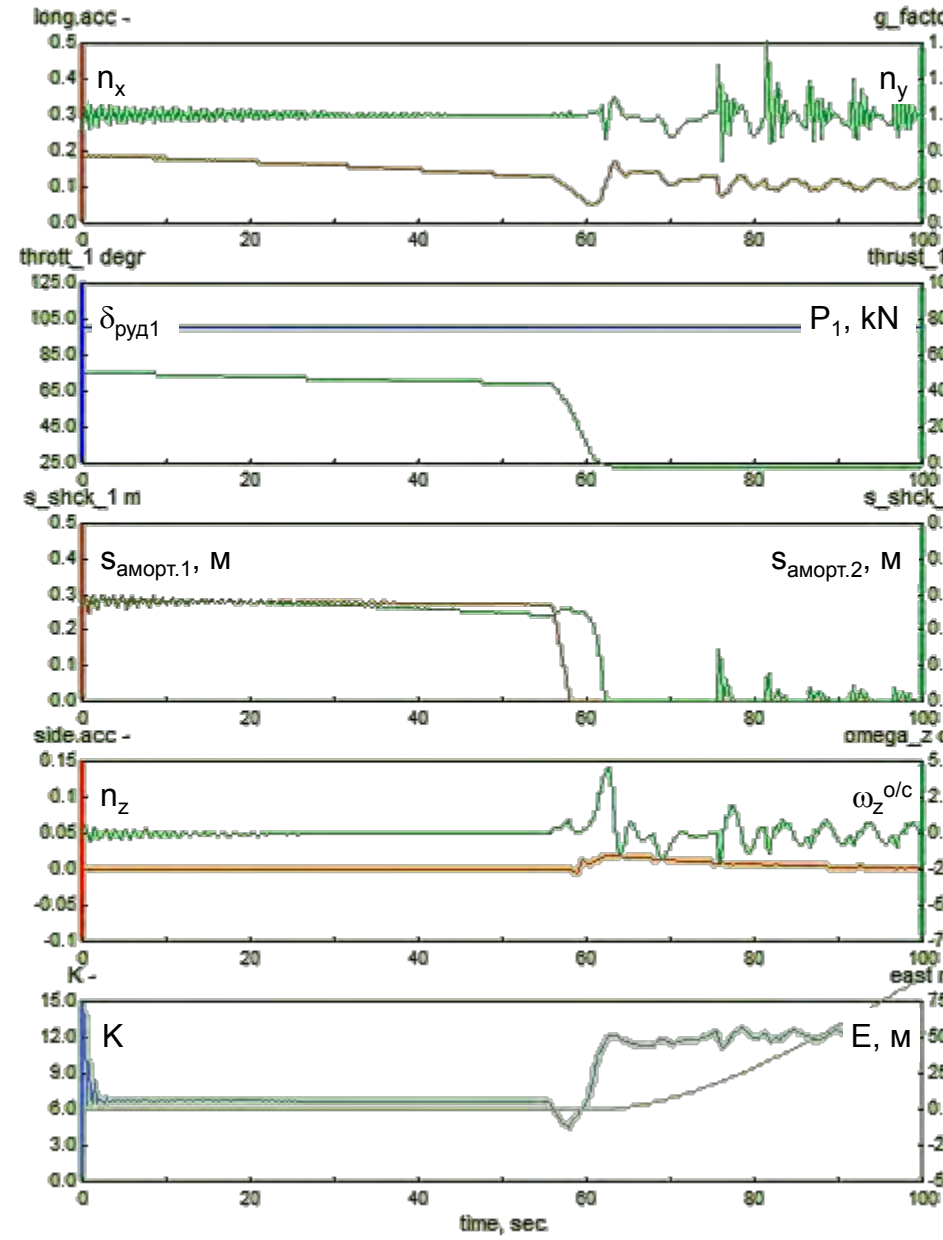
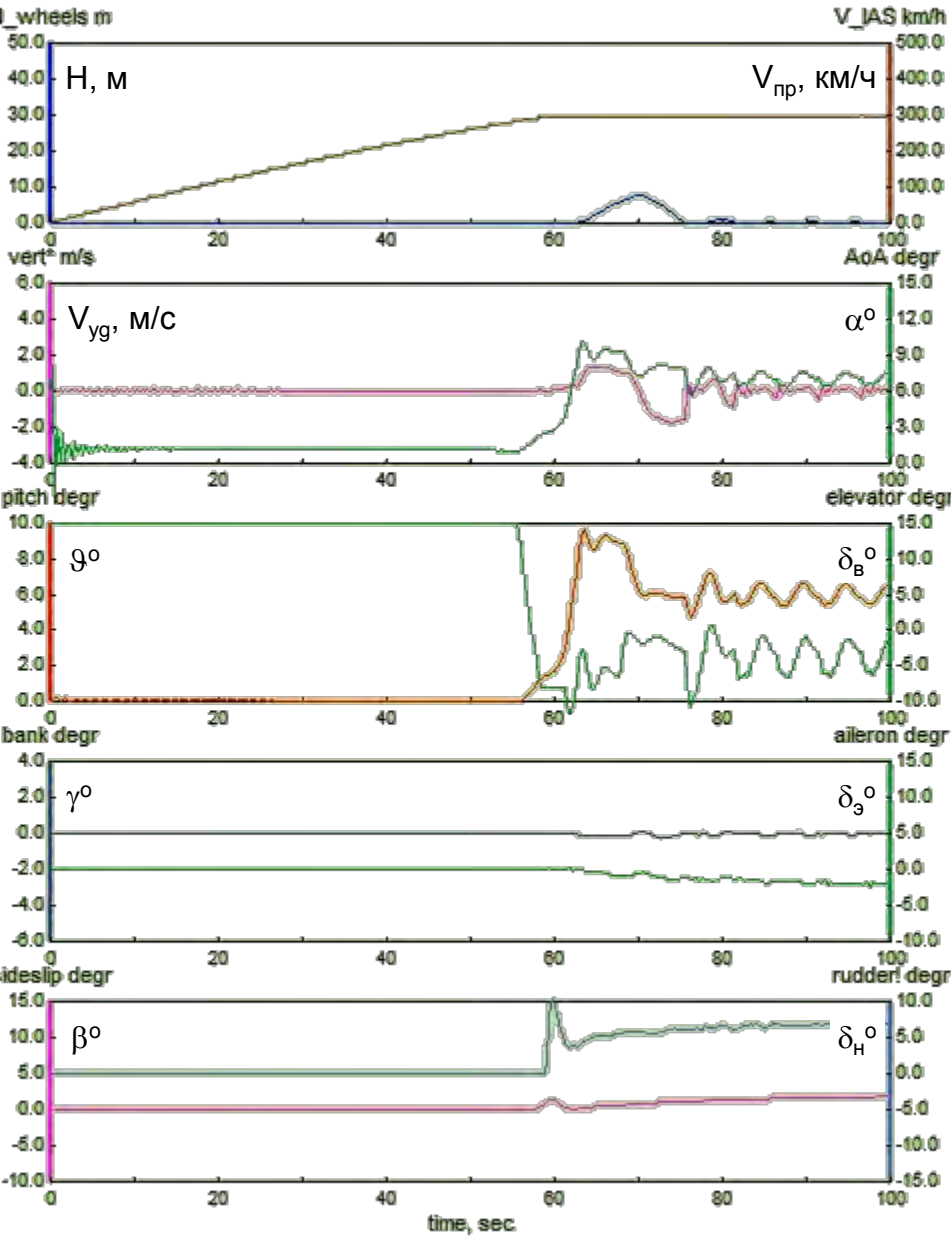
$$82/9 \rightarrow 6: \bar{P} = 82\%, \mathcal{P}_{\text{çää}} = 9^\circ \rightarrow 6^\circ$$

15/11/2005 13:46:27

Flight 1 Tu-134 1.1 Thr=80%._LEO_at_VR_Pitch=9->6._Sideslip,bank=0

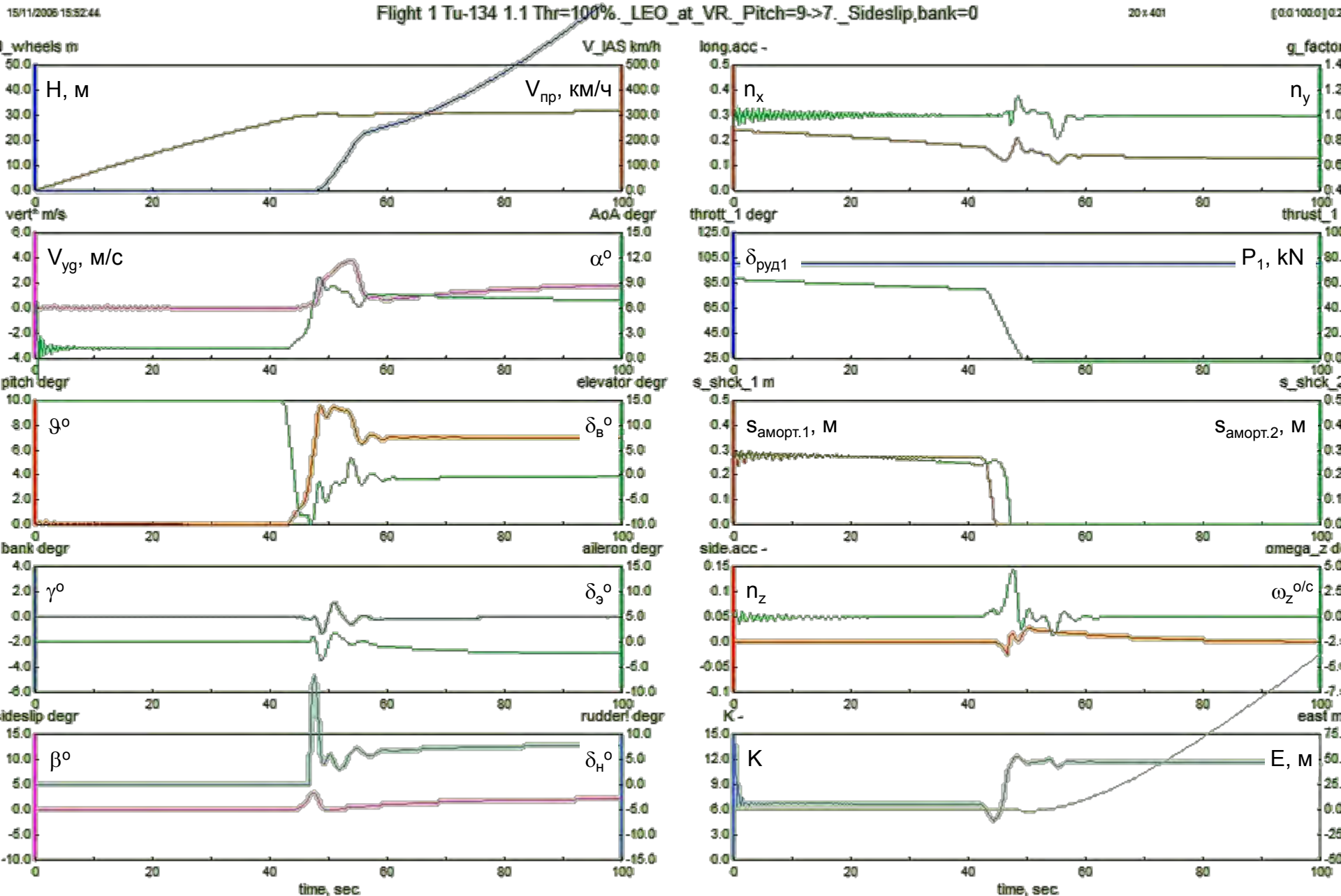
20 x 401

[00100.0]02

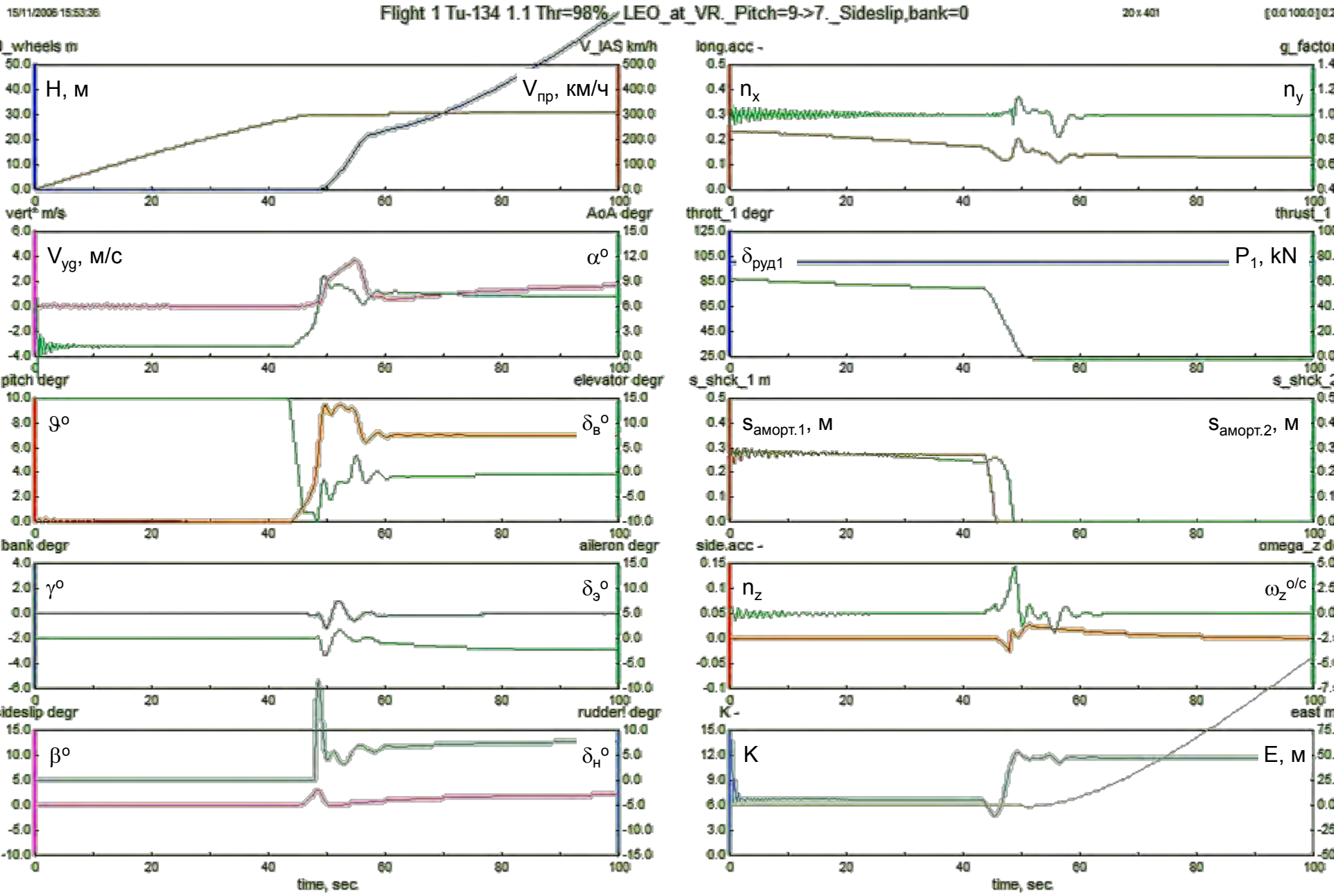


$$80/9 \rightarrow 6: \bar{P} = 80\%, \mathcal{G}_{\text{çää}} = 9^\circ \rightarrow 6^\circ$$

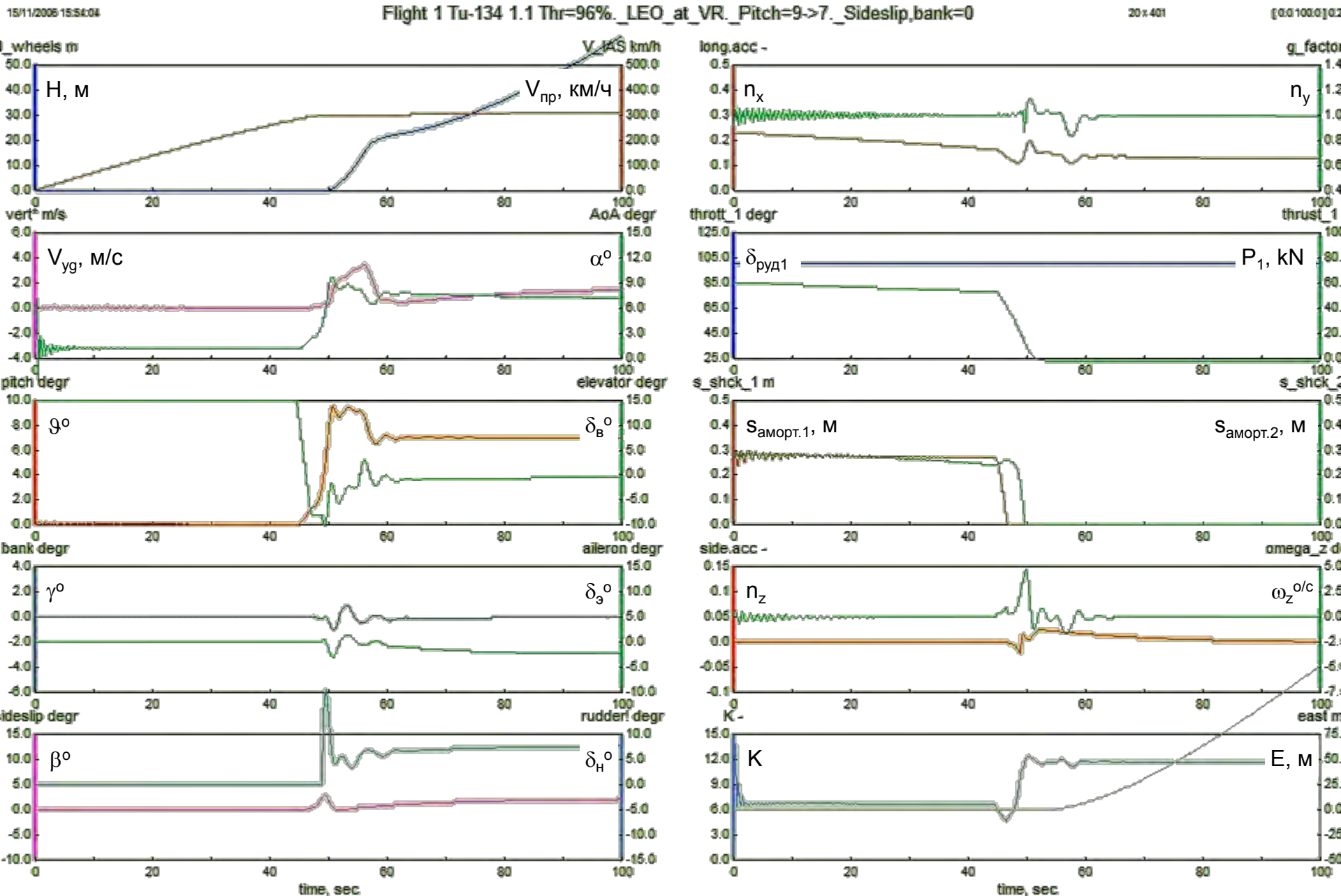
**Результаты моделирования
семейства ситуаций №8 “Продолженный взлёт
при вариациях располагаемой взлётной тяги
от 100 до 80% и программе изменения
целевого угла тангажа после отрыва $9^\circ \rightarrow 7^\circ$ ”**



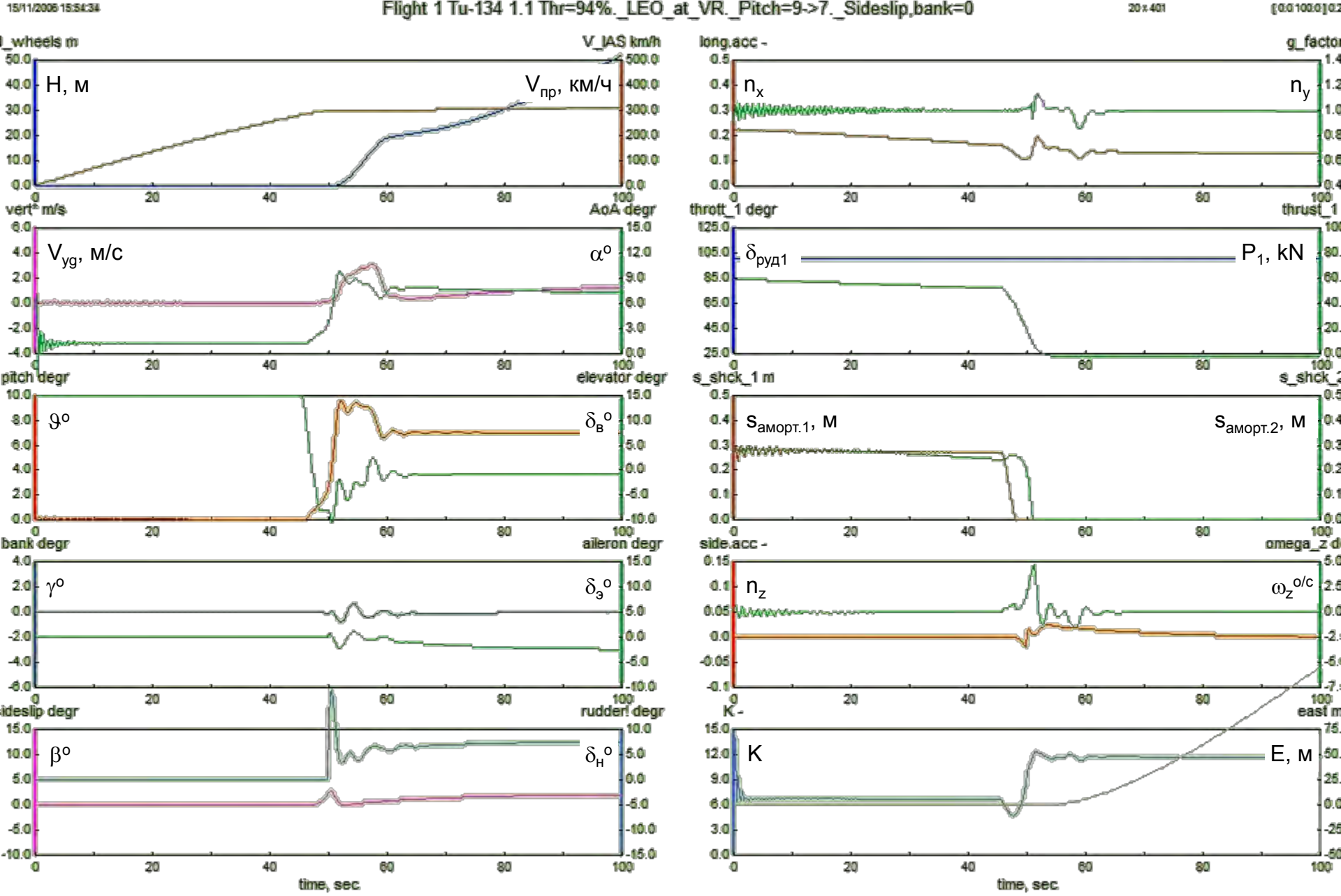
$$100/9 \rightarrow 7: \bar{P} = 100\%, \mathcal{G}_{\dot{\alpha}\ddot{\alpha}} = 9^{\circ} \rightarrow 7^{\circ}$$



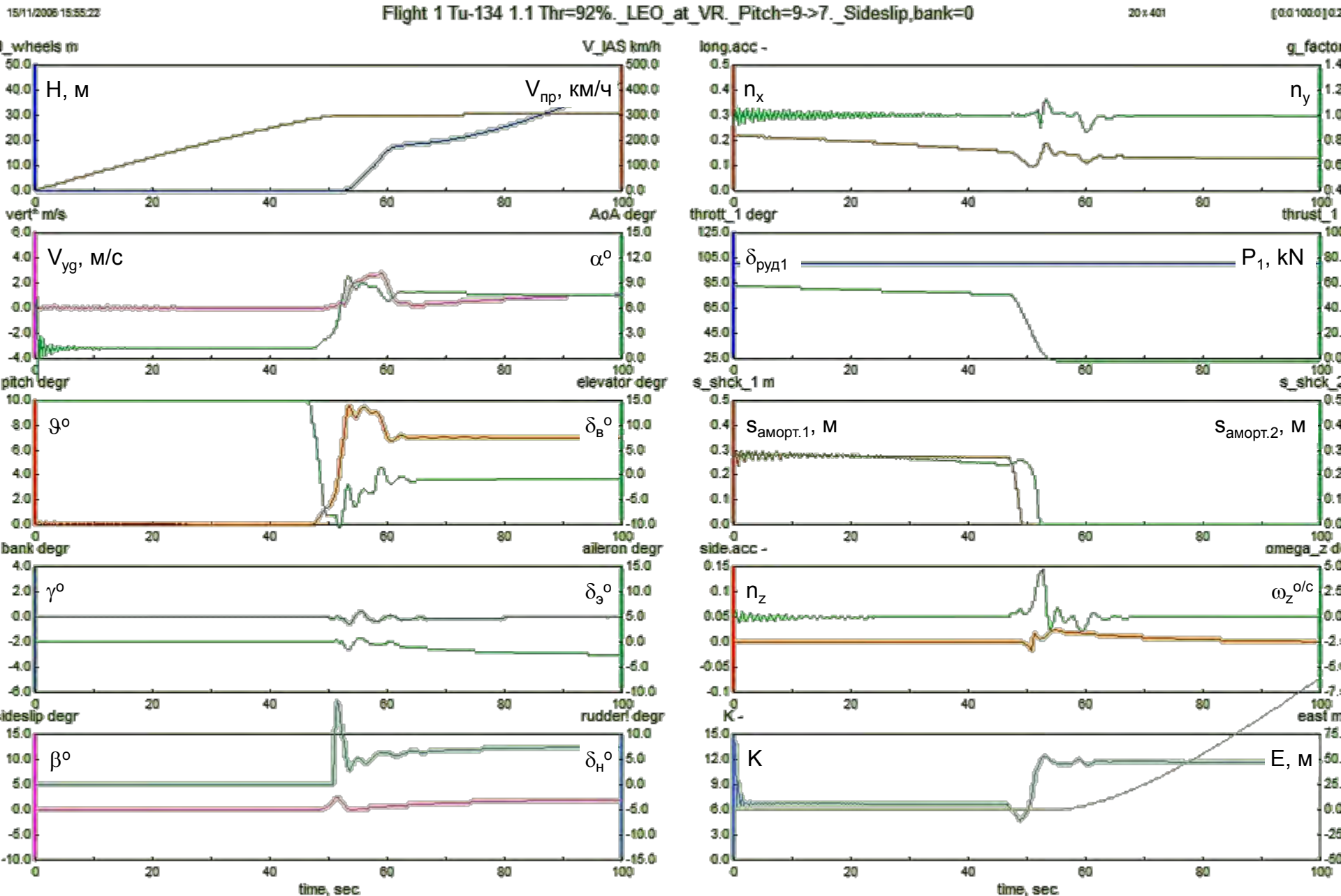
$$98/9 \rightarrow 7: \bar{P} = 98\%, \mathcal{G}_{\text{çàä}} = 9^\circ \rightarrow 7^\circ$$



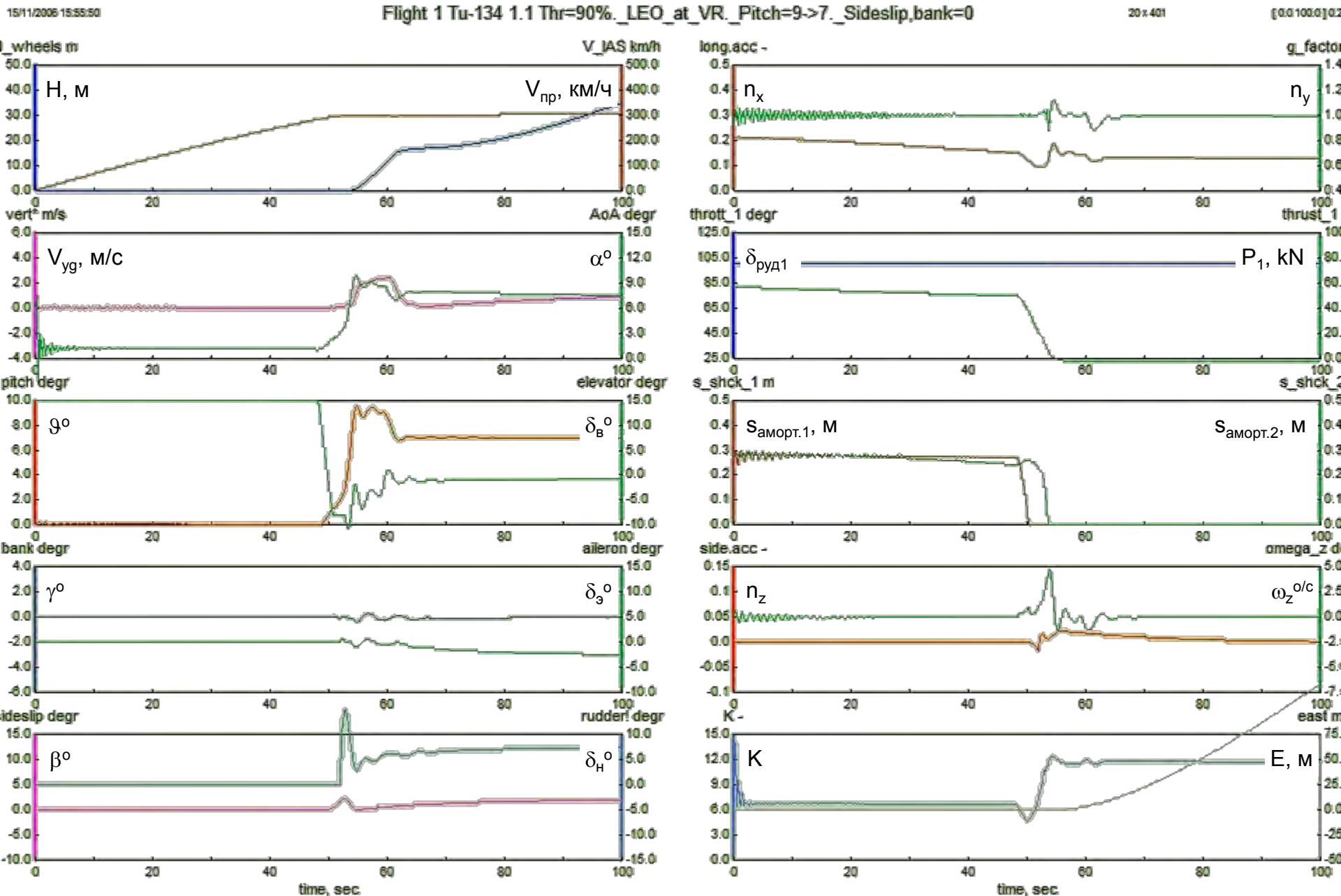
$$96/9 \rightarrow 7: \bar{P} = 96\%, \mathcal{G}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} = 9^\circ \rightarrow 7^\circ$$



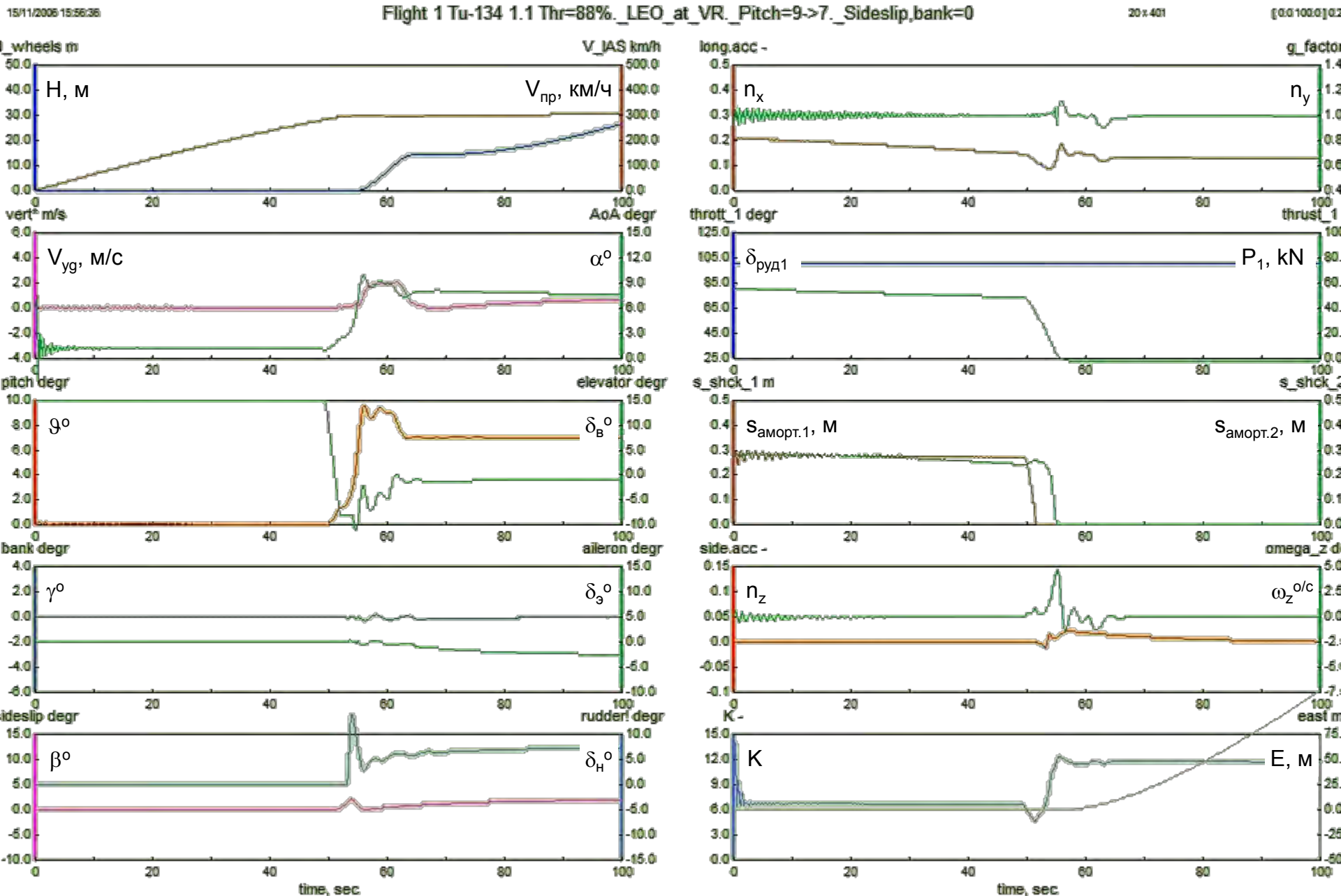
$$94/9 \rightarrow 7: \bar{P} = 94\%, \mathcal{G}_{\dot{\alpha}\ddot{\alpha}} = 9^\circ \rightarrow 7^\circ$$



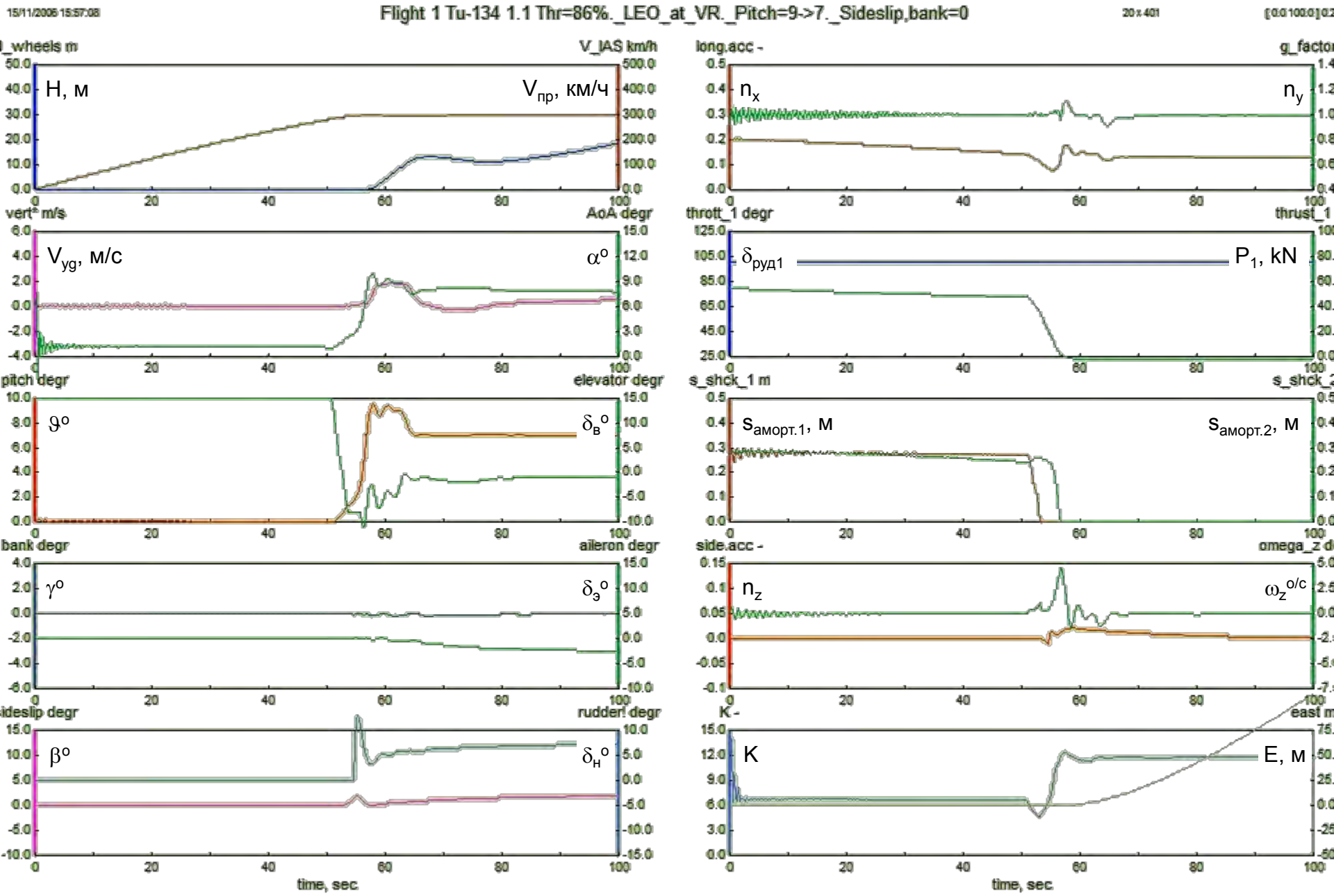
$$92/9 \rightarrow 7: \bar{P} = 92\%, \mathcal{G}_{\text{çàä}} = 9^\circ \rightarrow 7^\circ$$



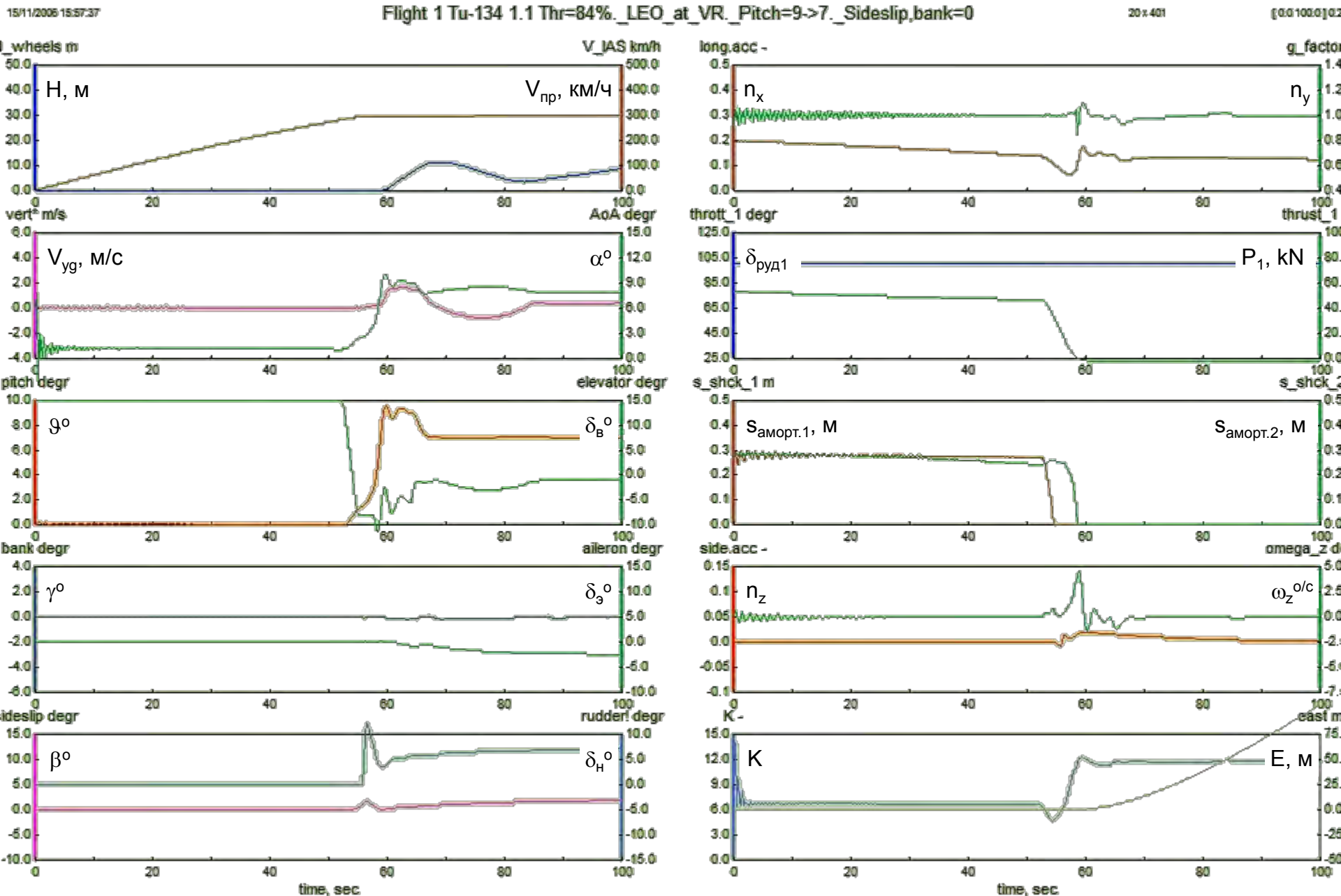
90/9 → 7: $\bar{P} = 90\%$, $\mathcal{G}_{\text{çàä}} = 9^\circ \rightarrow 7^\circ$



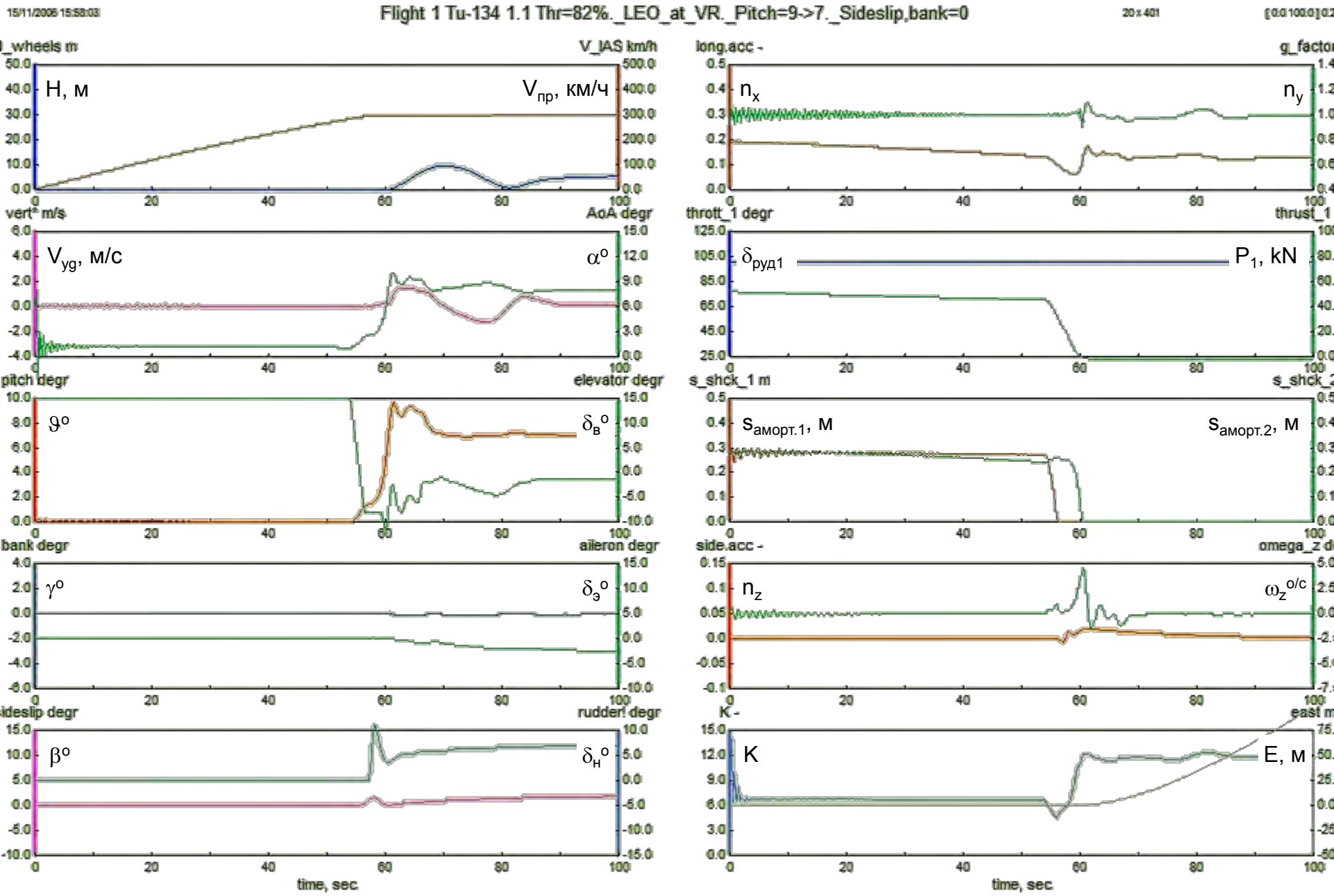
$$88/9 \rightarrow 7: \bar{P} = 88\%, \mathcal{G}_{\dot{\alpha}\ddot{\alpha}} = 9^\circ \rightarrow 7^\circ$$



$$86/9 \rightarrow 7: \bar{P} = 86\%, \vartheta_{\zeta\dot{\alpha}\ddot{\alpha}} = 9^\circ \rightarrow 7^\circ$$



$84/9 \rightarrow 7: \bar{P} = 84\%, \mathcal{G}_{\dot{\alpha}\ddot{\alpha}} = 9^\circ \rightarrow 7^\circ$



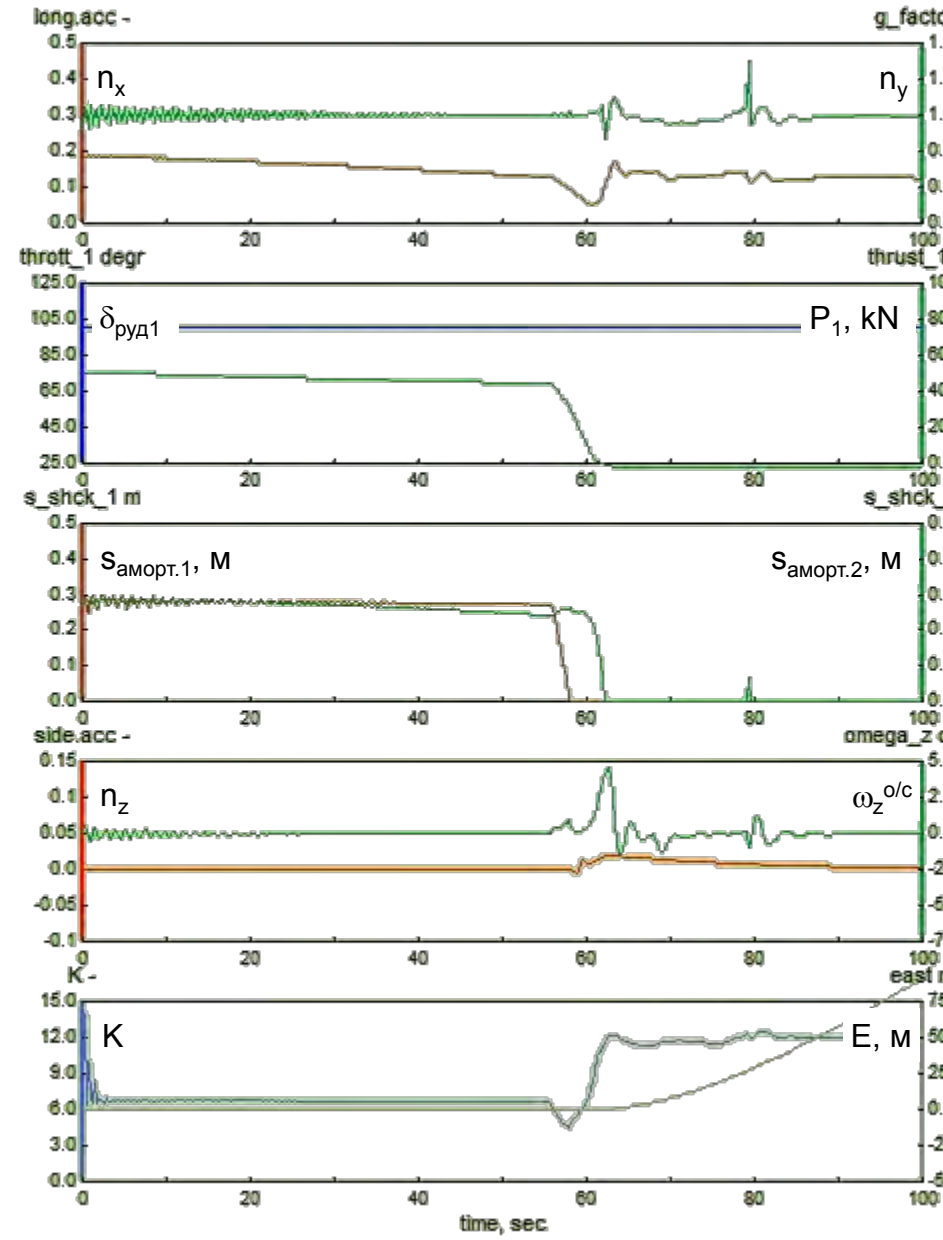
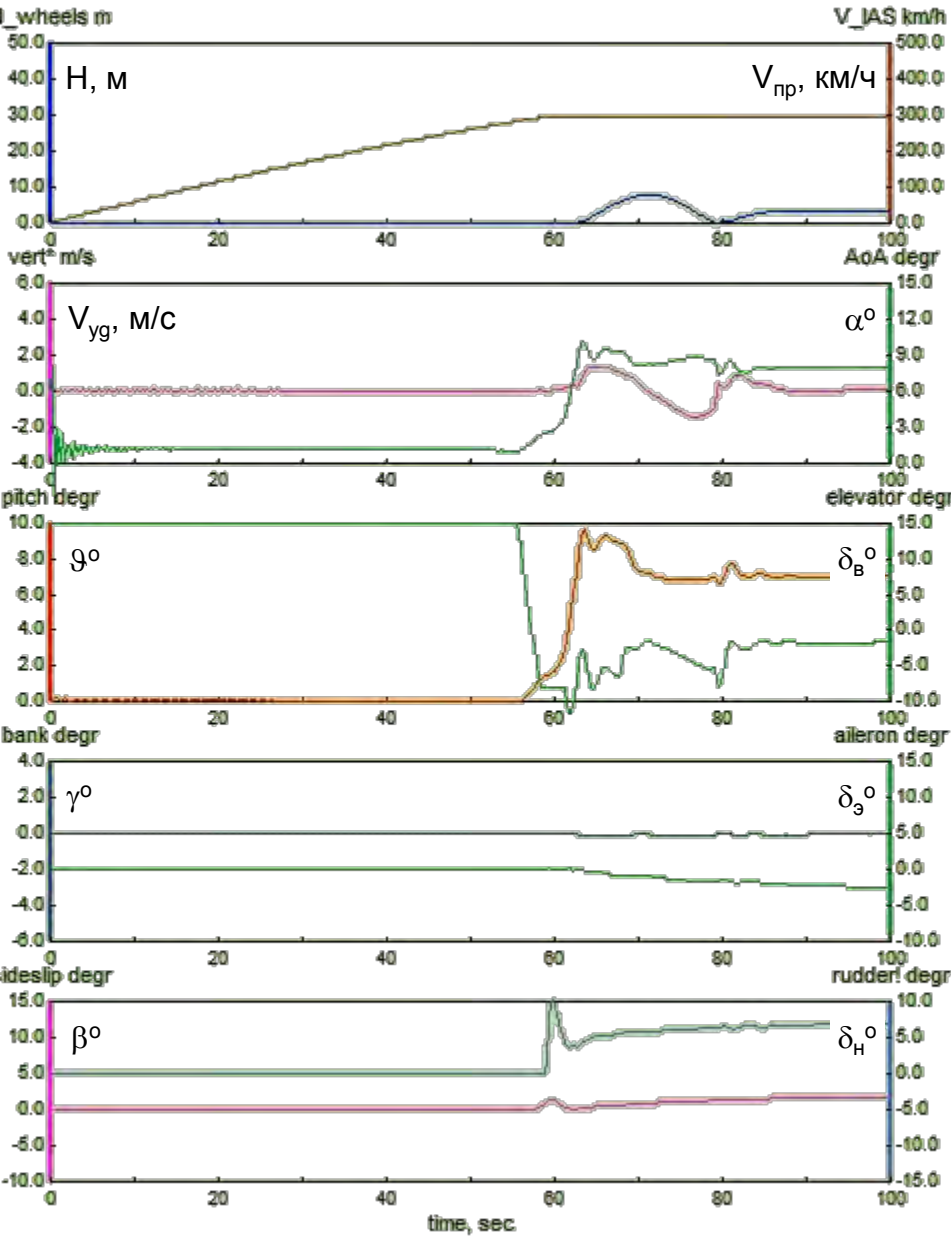
$$82/9 \rightarrow 7: \bar{P} = 82\%, \vartheta_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} = 9^\circ \rightarrow 7^\circ$$

15/11/2005 15:58:31

Flight 1 Tu-134 1.1 Thr=80%._LEO_at_VR_Pitch=9->7_Sideslip,bank=0

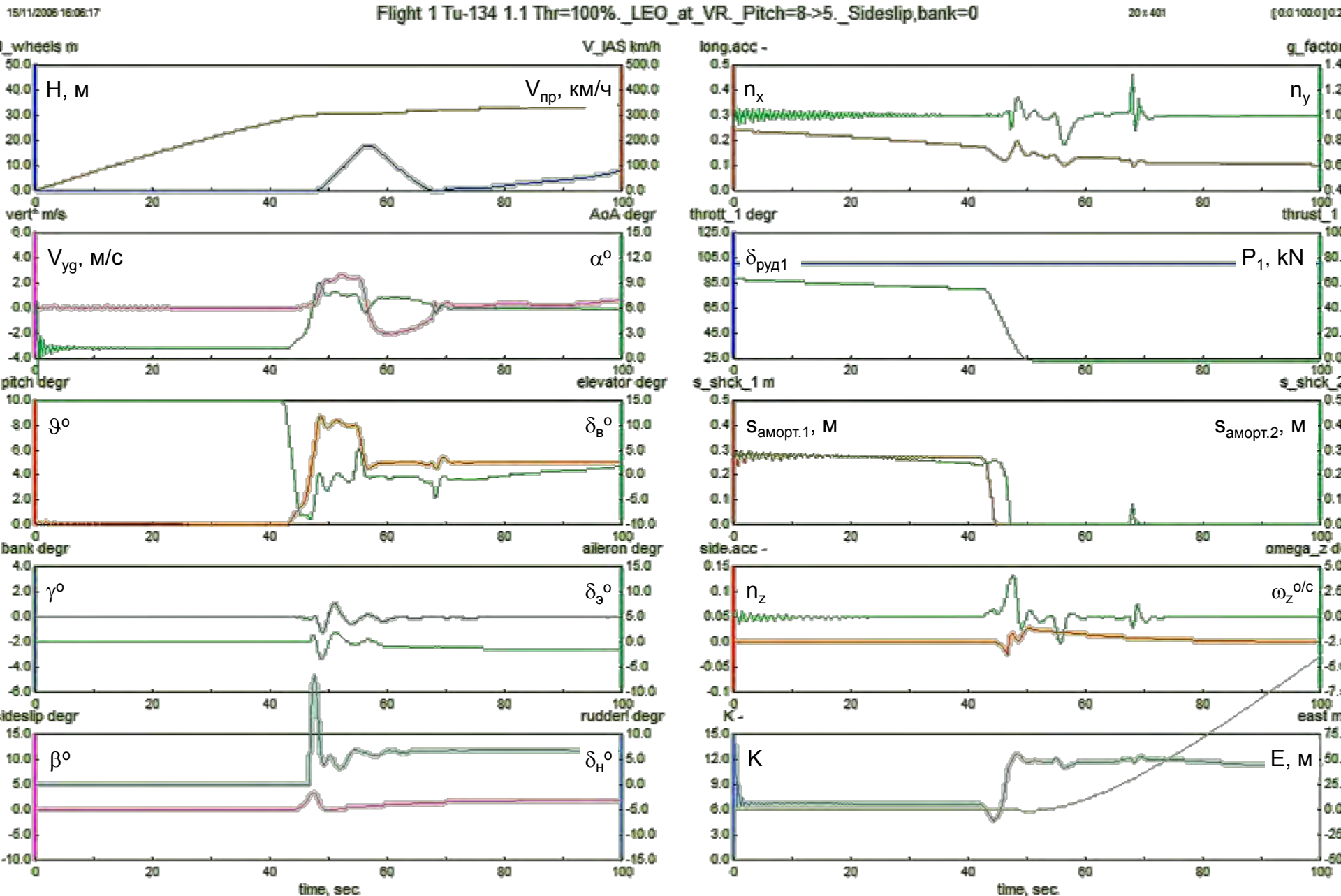
20 x 401

[00100.0]0.2

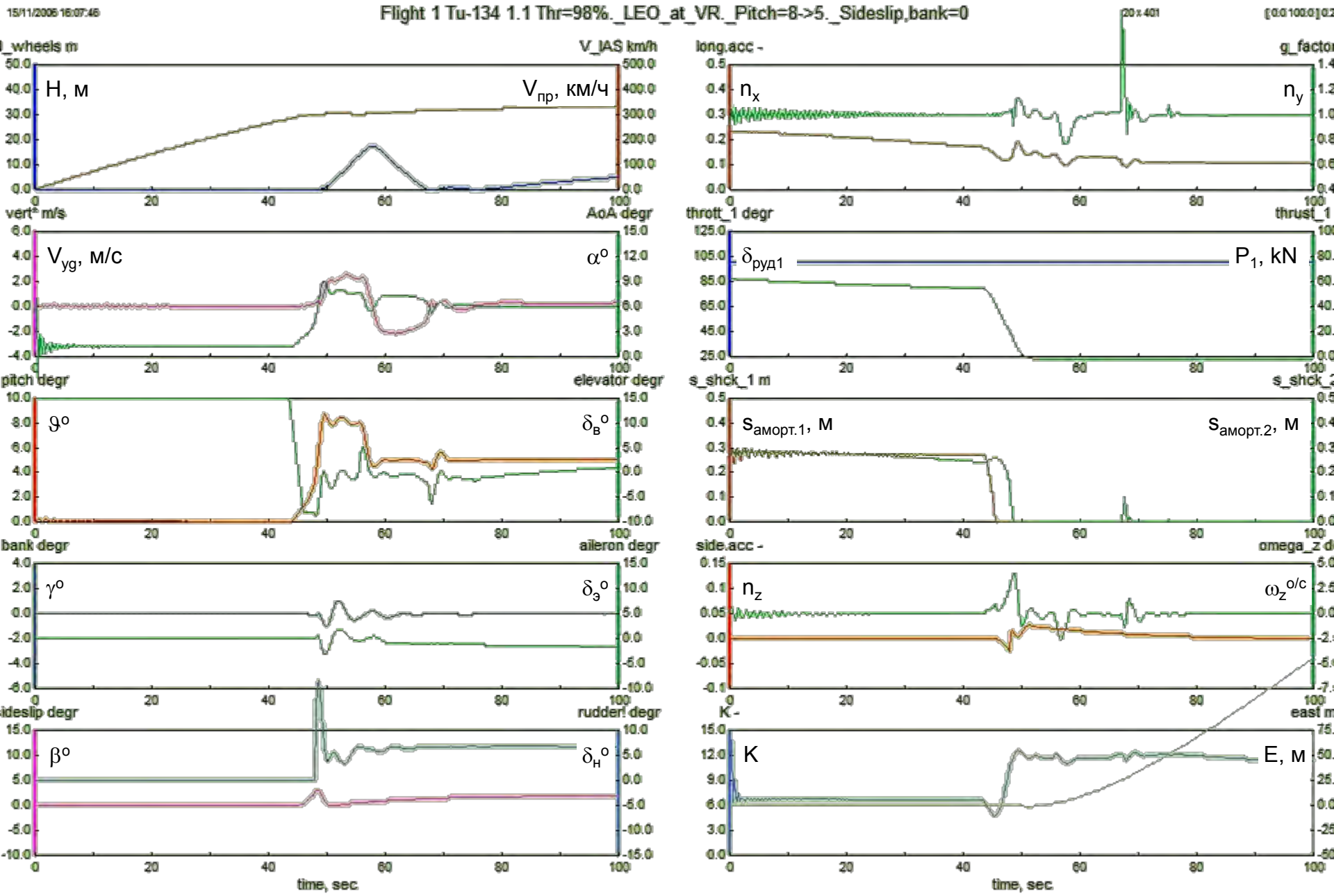


$80/9 \rightarrow 7: \bar{P} = 80\%, \vartheta_{\zeta\dot{\alpha}\dot{\alpha}} = 9^\circ \rightarrow 7^\circ$

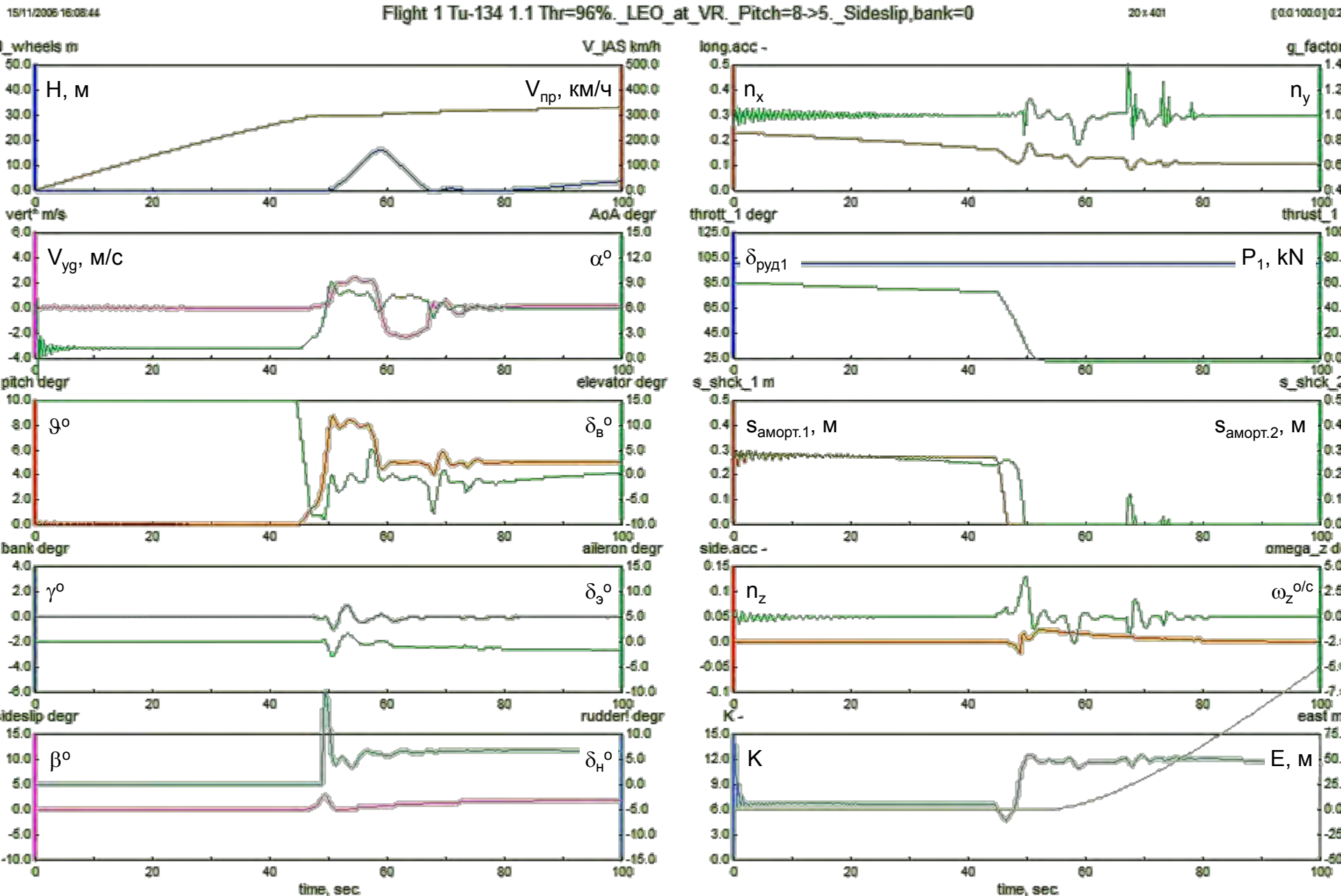
**Результаты моделирования
семейства ситуаций №9 “Продолженный взлёт
при вариациях располагаемой взлётной тяги
от 100 до 80% и программе изменения
целевого угла тангажа после отрыва $8^\circ \rightarrow 5^\circ$ ”**



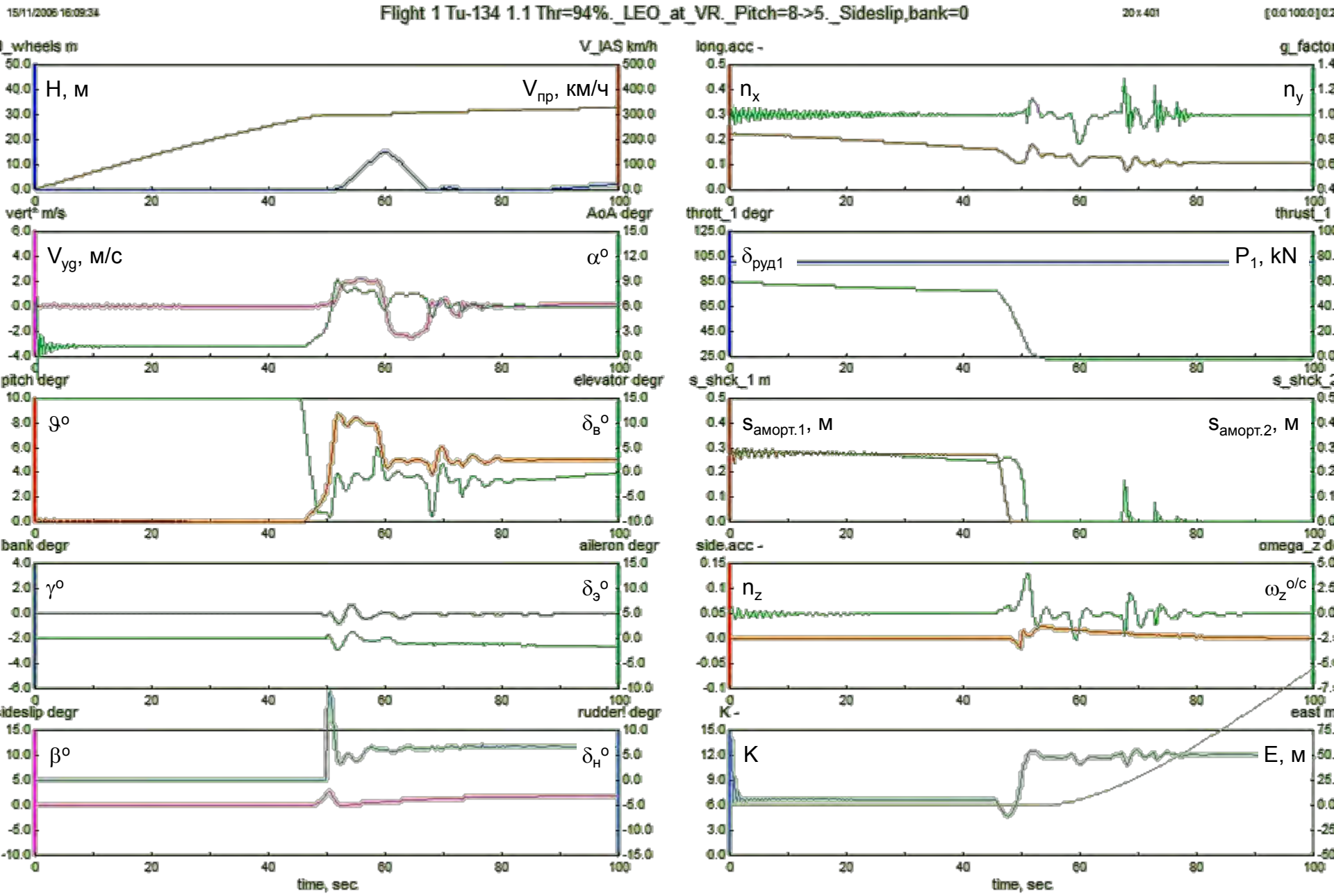
$$100/8 \rightarrow 5: \bar{P} = 100\%, \mathcal{G}_{зад} = 8^\circ \rightarrow 5^\circ$$



$$98/8 \rightarrow 5: \bar{P} = 98\%, \mathcal{G}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} = 8^\circ \rightarrow 5^\circ$$



$$96/8 \rightarrow 5: \bar{P} = 96\%, \mathcal{G}_{\text{çàä}} = 8^\circ \rightarrow 5^\circ$$



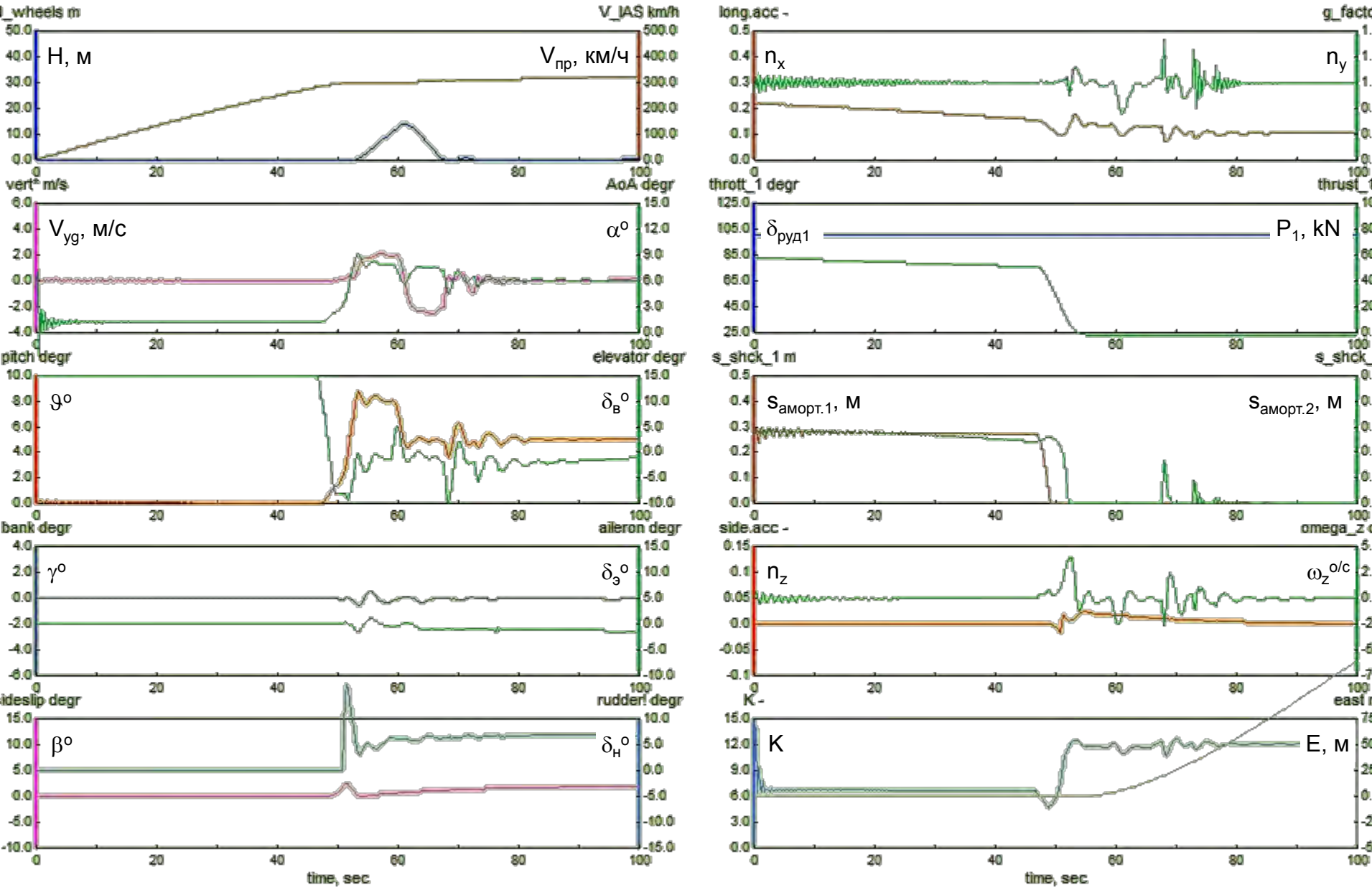
$$94/8 \rightarrow 5: \bar{P} = 94\%, \mathcal{G}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} = 8^\circ \rightarrow 5^\circ$$

15/11/2005 16:10:01

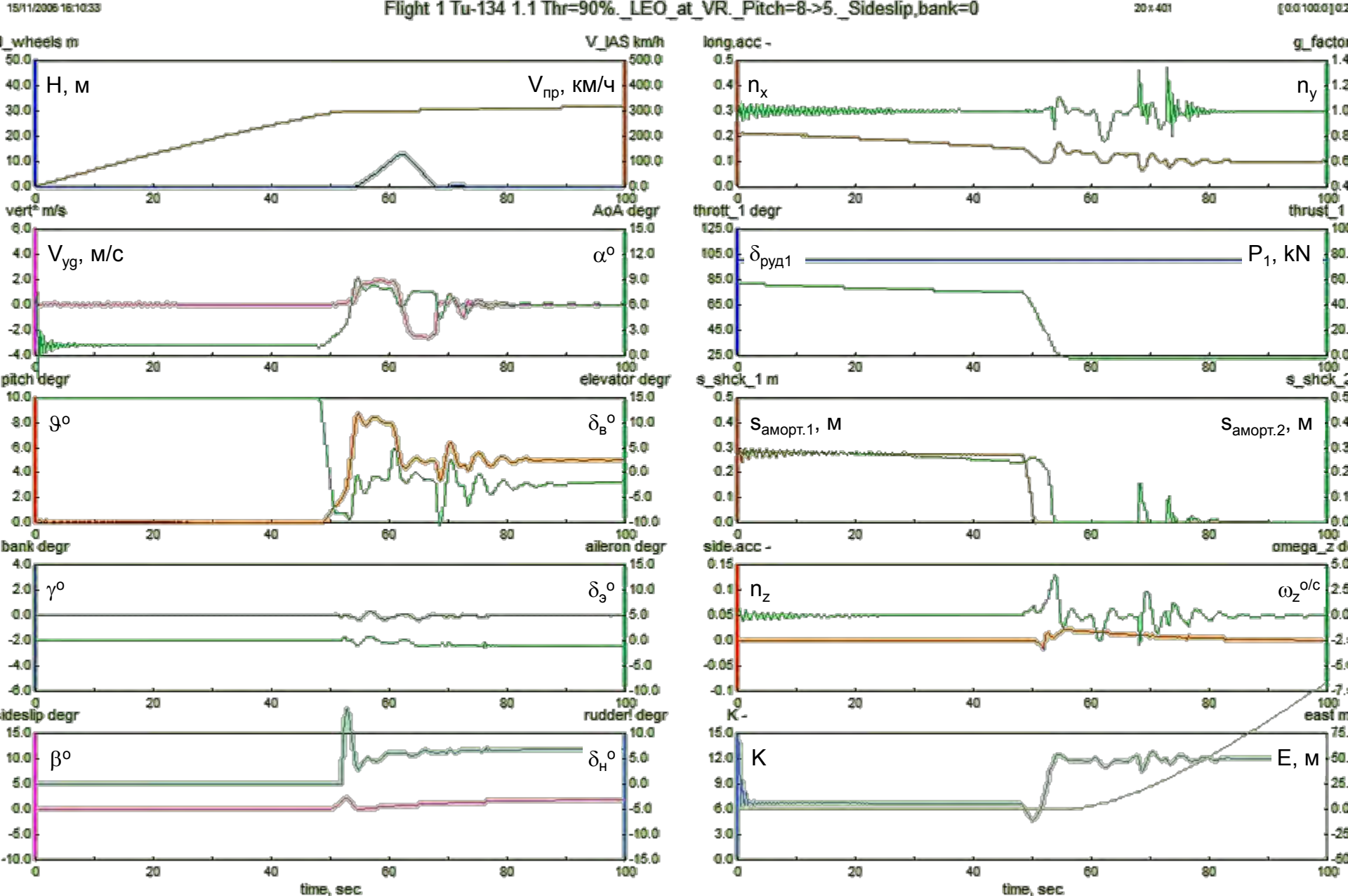
Flight 1 Tu-134 1.1 Thr=92%._LEO_at_VR_Pitch=8->5._Sideslip,bank=0

20 x 401

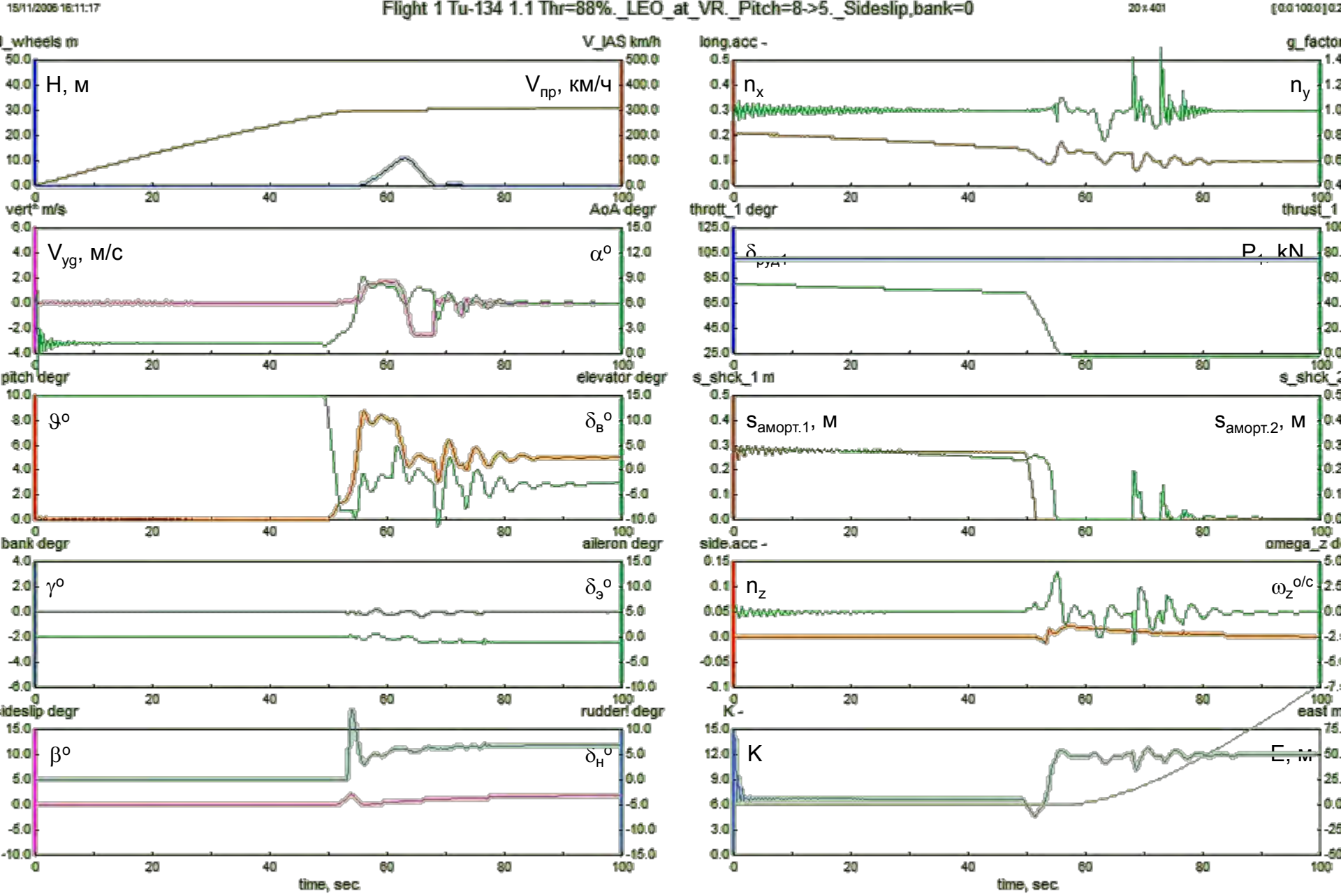
[00100.0]0.2



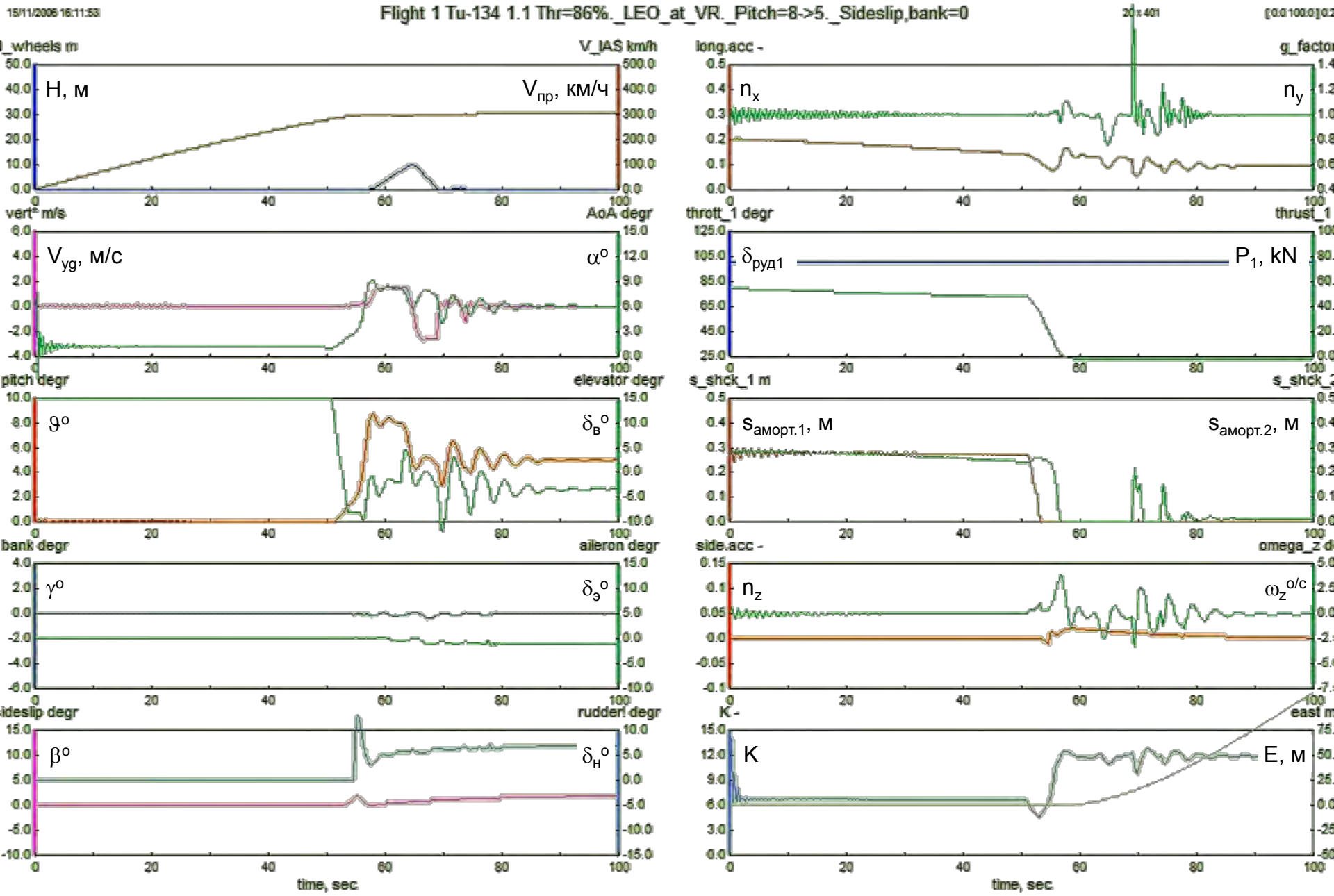
$$92/8 \rightarrow 5: \bar{P} = 92\%, \mathcal{G}_{\text{çàä}} = 8^\circ \rightarrow 5^\circ$$



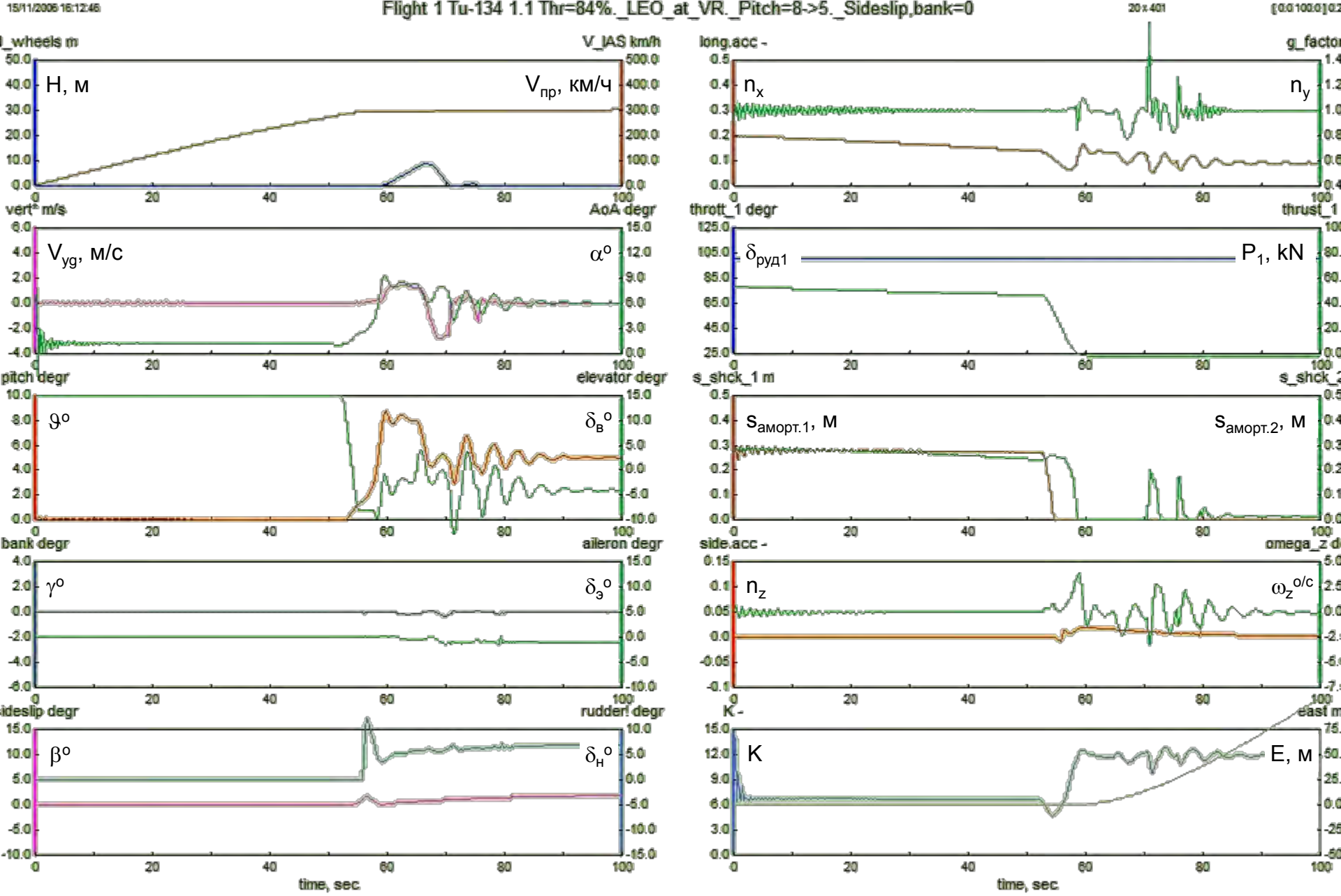
90/8 → 5: $\bar{P} = 90\%$, $\mathcal{G}_{\text{çàä}} = 8^\circ \rightarrow 5^\circ$



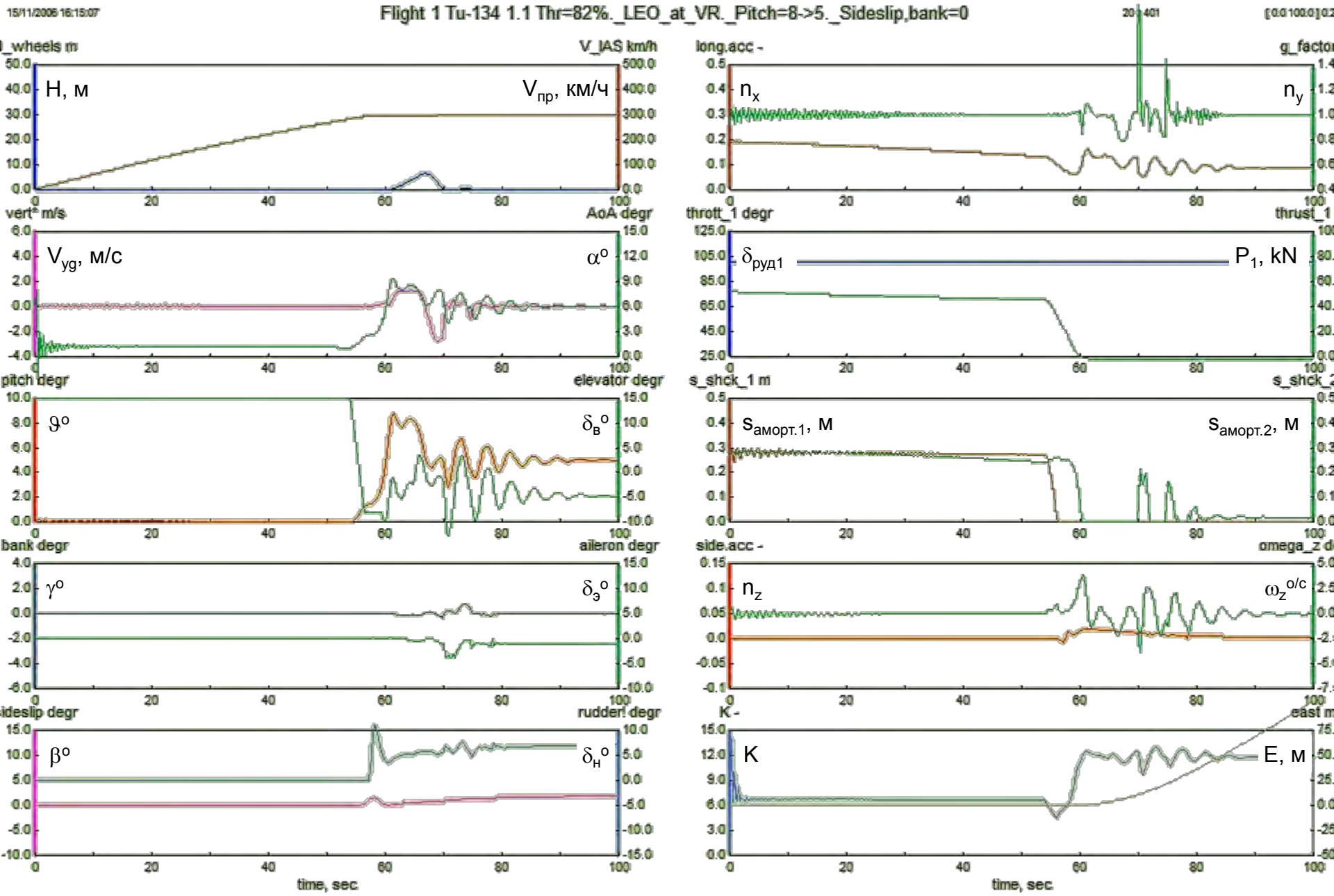
$$88/8 \rightarrow 5: \bar{P} = 88\%, \mathcal{G}_{\text{çäi}} = 8^\circ \rightarrow 5^\circ$$



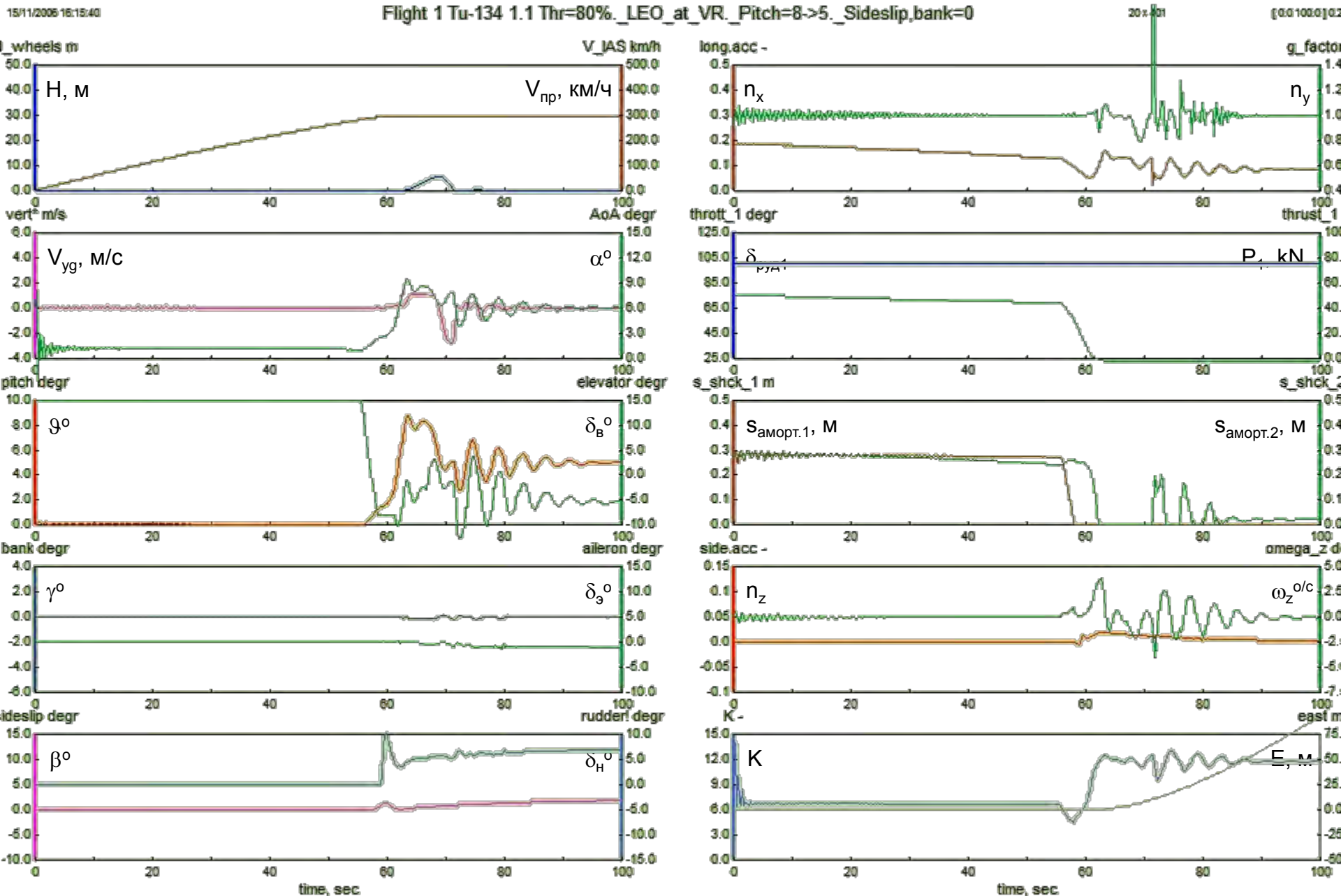
$$86/8 \rightarrow 5: \bar{P} = 86\%, \mathcal{I}_{\zeta\dot{\alpha}\ddot{\alpha}} = 8^\circ \rightarrow 5^\circ$$



$$84/8 \rightarrow 5: \bar{P} = 84\%, \mathcal{G}_{\zeta\dot{\alpha}\ddot{\alpha}} = 8^\circ \rightarrow 5^\circ$$



$$82/8 \rightarrow 5: \bar{P} = 82\%, \mathcal{G}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} = 8^\circ \rightarrow 5^\circ$$



$$80/8 \rightarrow 5: \bar{P} = 80\%, \mathcal{G}_{\text{çàä}} = 8^\circ \rightarrow 5^\circ$$

Анализ результатов контрольной серии вычислительного эксперимента (продолженный взлёт, отказ левого двигателя на скорости V_R)

Примечание: для рассмотренных семейств модельных ситуаций справедливы начальные условия и формальный сценарий управления “искусственного лётчика”, которые описаны в начале Частей 1 и 2.

1. Семейства ситуаций №№ 1, 2 (см. Часть 1). Набор высоты возможен со средней вертикальной скоростью 2,5 ... 1,5 м/с при выдерживании целевого угла тангажа 8,5° ... 9,5° и относительной величине тяге в диапазоне 100 ... 88% от расчётной взлётной (соответствующей текущей воздушной скорости на высоте аэродрома) тяги. Однако при этом скорость полёта по прибору 300 ... 295 км/ч, достигнутая в момент отрыва самолёта от ВПП, при наборе высоты не увеличивается. При тех же значениях целевого угла тангажа самолёт после отрыва от ВПП не набирает высоту, либо снижается, если тяга соответствует 86 ... 84% или меньше расчётной взлётной тяги.
2. Семейство ситуаций № 3 (см. Часть 2). Набор высоты возможен со средней вертикальной скоростью 1,2 ... 0,7 м/с при значениях целевого угла тангажа 7° и тяге двигателей в диапазоне 100 ... 86% от расчётной взлётной тяги. При этом скорость по прибору не растёт выше 310 км/ч. При значениях тяги меньше 86% уверенный набор высоты после отрыва невозможен.

Анализ результатов контрольной серии вычислительного эксперимента (продолжение)

3. Семейство ситуаций № 4. При целевом угле тангажа после отрыва, равном 6° , и практически полной тяге ($>94\%$) самолёт продолжает разгон до скорости $320 \dots 330$ км/ч на высоте $1,5 \dots 3$ м от ВПП (по нижней кромке основных колес); затем постепенно переходит в уверенный набор высоты с возрастающей вертикальной скоростью $1 \dots 1,5$ м/с и более при $V_{пр} \approx 330$ км/ч = *const.* При тяге ниже 92% от расчетной взлётной уверенный отход самолёта от ВПП невозможен.
4. Семейство ситуаций № 5. При целевом значении угла тангажа после отрыва, равном 5° , и любом значении тяги в диапазоне от 100% до 90% устойчивый отрыв и отход самолёта от ВПП невозможен. При этом скорость по прибору достигает $320-330$ км/ч.
5. Семейства ситуаций №№ 6, 9. При реализации двухступенчатой программы целевого угла тангажа $9^\circ \rightarrow 5^\circ$ после отрыва, в первой фазе набора высоты (при $\vartheta_{зад} = 9^\circ$) наблюдается уверенный отход самолёта от ВПП с вертикальной скоростью $2 \dots 4$ м/с. Максимальная достигнутая при этом высота лежит в диапазоне $22 \dots 8$ м (по нижней кромке колес) для тяги в пределах $100 \dots 80\%$, соответственно. Затем однако, после уменьшения угла тангажа до 5° , самолёт резко переходит в снижение с вертикальной скоростью $-2 \dots -3$ м/с, вплоть до касания ВПП.

Анализ результатов контрольной серии вычислительного эксперимента (продолжение)

Ввиду высокой чувствительности самолёта к выбору целевого угла тангажа после отрыва и весьма быстротечного процесса просадки самолёта по высоте данный сценарий ($9^\circ \rightarrow 5^\circ$), равно как и сценарий с программой целевого тангажа $8^\circ \rightarrow 5^\circ$, является опасным. Воздушный участок инцидента, по нашему мнению, принадлежит к этому семейству ситуаций.

6. Семейство ситуаций № 7. Двухступенчатая программа изменения целевого угла тангажа после отрыва $9^\circ \rightarrow 6^\circ$ близка к оптимальной для условий данного инцидента. После уверенного отхода от ВПП с вертикальной скоростью 2 ... 4 м/с уменьшение угла тангажа до 6° приводит лишь к небольшой временной просадке самолета по высоте на 6 м (с 22 до 16 м). В дальнейшем устойчивый набор высоты восстанавливается с вертикальной скоростью 1 ... 1,5 м/с. На воздушном участке взлёта приборная скорость непрерывно растёт до 320 ... 330 км/ч, хотя и медленно. Описанная выше качественная картина продолженного набора высоты для программы тангажа $9^\circ \rightarrow 6^\circ$ сохраняется при значениях тяги в диапазоне 100 ... 92%.
7. Семейство ситуаций № 8. Двухступенчатая программа изменения целевого угла тангажа после отрыва $9^\circ \rightarrow 7^\circ$ также близка к оптимальной для значений тяги в диапазоне 100% ... 86% и заданных начальных условий. При этом, однако, достигнутая максимальная скорость полёта по прибору – меньше: 310 ... 300 км/ч.

Список использованных источников

(См. материалы информационного диска)

Тотиашвили Л.Г., Бурдун И.Е. Отчеты РКИИ ГА и РЭЦ ГосНИИ ГА по моделированию полета самолета Ту-134 (г. Рига, 1979-1980гг.)

Описание обстоятельств инцидента, схема замеров на месте происшествия (“кроки”), записи параметров полета самолёта в ситуации инцидента, предоставленные специалистами.

Выдержки из лётно-методической документации самолёта Ту-134А.

Лигум Т.Л., “Аэродинамика самолёта Ту-134А”, М., “Транспорт”, 1975.