МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

МГТУГА

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК МГТУГА

№ 23

серия **Аэромеханика и прочность**

Москва
2000

Редакционная коллегия

Ответственный редактор - д-р техн. наук, проф. В.Г. Ципенко

Члены редколлегии - д-р техн. наук, проф. В.С. Шапкин;
д-р техн. наук, проф. А.И. Желанников;
д-р техн. наук, проф. А.Н. Лысенко;
д-р техн. наук, проф. В.Т. Калугин;
д-р техн. наук, проф. В.С. Брусов.

Ответственный секретарь - канд. техн. наук, доц. М.С. Кубланов

Ц $\frac{2705140400-005}{Ц33(03)-00}$

ISBN 5-86311-234-4

Св. план 2000 г.

Научный вестник МГТУ ГА

№ 23

серия Аэромеханика и прочность

Редакторы Т.М. Приорова, Е.А. Колотушкина Компьютерная вёрстка С.А. Гаранин

ЛР №020580 от 23.06.97 г. Подписано в печать 01.02.2000 г.
Печать офсетная Формат 60x90/8 7,75 уч.-изд.л.
7,21 усл. печ. л. Заказ № 390/2351 Тираж 150 экз.

Московский государственный технический университет ГА
Редакционно-издательский отдел
125493 Москва, ул. Пулковская, д. 6А

ISBN 5-86311-234-4

©Московский государственный
технический университет ГА, 2000.

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

№ 23 **2000**

СОДЕРЖАНИЕ

Керн А.Т., Рисухин В.Н., Ципенко В.Г. Подход к решению проблемы повышения уровня безопасности полетов на основе использования модели летного мастерства пилота 5

Керн А.Т., Рисухин В.Н., Ципенко В.Г. Знания пилота о своем самолете – важнейшая часть летного мастерства 13

Круглякова О.В. Анализ последствий отказов системы перестановки закрылков (СПЗ-8) на самолете Ил-96Т 17

Кубланов М.С. Математическое моделирование аварии Ил-76 в Иркутске 26.07.99 21

Баннов Н.А., Кубланов М.С. Перспективы ввода в эксплуатацию грузовых самолетов Ил-62Т в ОАО "Аэрофлот" 29

Моряков С.В. Постановка задачи исследования особенностей взлета Ил-96-300 31

Иванов В.Э., Бехтина Н.Б., Горбань Б.В., Кутумов А.Н., Косачевский С.Г. Влияние противообледенительной обработки на взлет самолета Ту-154М при пониженных коэффициентах сцепления и отказах двигателя в системе управления 35

Иванов В.Э., Бехтина Н.Б., Косачевский С.Г., Николаев А.В., Чумаков А.В. Моделирование взлета самолета Ил-96-300 при отказе двигателя с учетом и без учета противообледенительной обработки 39

Ефимов В.В., Ефимова М.Г. Конкурентоспособность легких самолетов авиации общего назначения российского производства и пути ее повышения 45

Гофман А.Э., Мудраков С.С., Пеший Д.Р., Поздняков В.В., Чугуй А.И. Особенности продольной управляемости самолета Ту-154 в режиме захода на посадку 51

Григорьев Н.И., Логвинов И.И., Ципенко В.Г. Параметры воздушной подушки при действии набегающего потока 57

Григорьев Н.И., Логвинов И.И., Ципенко В.Г. Аппараты и устройства на воздушной подушке в процессе технической эксплуатации летательных аппаратов 63

Глухих И.Н., Сазанов В.Е. Интегрированные системы в технологиях компьютеризации профессиональной подготовки диспетчеров по управлению воздушным движением 69

Желанников А.И., Дзюба А.С. Исследование аэродинамических характеристик и параметров движения самолётов при полёте строем 77

Анисимов А.Н., Гуляев В.В. Линейная математическая модель динамики движения элементов буксировочного троса в возмущенном воздушном потоке 89

Желанников А.И., Иванов П.Е., Поляков А.А. Некоторые проблемы повышения эффективности авиации и увеличения пропускной способности аэропортов 103

Иванов П.Е., Поляков А.А. К определению интервалов взлета воздушных судов 107

Калугин В.Т., Луценко А.Ю., Столярова Е.Г. Аэродинамические характеристики моделей спускаемых аппаратов при инжекции тангенциальных блочных струй кормовой тормозной двигательной установки 109

Калугин В.Т., Луценко А.Ю., Столярова Е.Г. Влияние колебательных движений на аэродинамические характеристики тел в условиях гистерезисного обтекания 113

Каретников Г.К., Прохоров В.Н. Управление аэродинамическими характеристиками тел вращения вдувом струй газа в область ближнего следа 121

УДК 629.735.015.681.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИИ ИЛ-76 В ИРКУТСКЕ 26.07.99

М.С. Кубланов

Статья представлена доктором технических наук, профессором Ципенко В.Г.

Рассматриваются результаты расчетов возможных траекторий, полученных в отсутствии данных МСРП.

Методика идентификации математических моделей движения различных типов самолетов на различных участках полета [1,2], разработанная в рамках Системы математического моделирования динамики полета летательных аппаратов (СММ ДП ЛА) сотрудниками МГТУ ГА, показала возможность определения некоторых неизвестных параметров полета. Эта возможность СММ побудила автора к попытке восстановить траекторию незавершенного взлета самолета Ил-76 в Иркутске 26.07.99 г.

Ко времени проведения вычислительных экспериментов на СММ 30.07.99 г. автору были известны из периодической печати лишь скудные сведения о метеоусловиях и факт столкновения с приводной радиостанцией (высотой около 4 м), находящимся в створе ВПП, а также то, что взлет не завершен и самолет оказался вновь на земле. Данных о состоянии самолета, размерах ВПП и записей МСРП автор не имеет до сих пор. Тем не менее, результаты расчетов позволили восстановить возможную картину событий в таких подробностях, которые заслуживают внимания не только читателей данного вестника, но и специалистов по расследованию летных происшествий – эти материалы были переданы в ГосНИИ ГА.

В результате решения задачи идентификации установлены наиболее вероятные условия взлета и способы пилотирования, которые могли бы привести к падению самолета на линии продолжения ВПП после взлета:

1) взлетная масса самолета 210 т;

2) взлетная тяга двигателей на 10 % ниже стендовой;

3) скорость V_R = 255 км/ч по прибору;

4) отрыв совершен на скорости $V_{отр}$ = 262 км/ч по прибору в 2460 м от линии исполнительного старта;

5) при попытке пилота удержать угол тангажа на взлете ϑ = 12° самолет достигает максимальной высоты 4 м без роста скорости, после чего приземляется на расстоянии 3350 м от линии исполнительного старта с первым касанием хвостом (см. циклограмму "тангаж = 12 град" и сплошную линию на рис. 1);

6) при попытке пилота сохранить скорость первоначального набора высоты за счет выдерживания градиента набора η = 0,4 % самолет набирает высоту 4 м на расстоянии 2830 м от линии исполнительного старта, а высоту 5 м на расстоянии 3290 м от линии исполнительного старта (см. циклограмму " град. набора = 0,4 %" и пунктирную линию на рис. 1);

7) реальная траектория, приведшая к столкновению с приводной радиостанцией, находится между расчетными.

Необходимо сделать следующие замечания о возможном влиянии конкретных условий летного происшествия:

1) недостаток 10 % тяги от стендовой вполне возможен – результаты идентификации регулярных рейсов самолета Ил-76 это подтверждают;

ВЗЛЕТ ИЛ-76 N:76819 (Иркутск 26.07.99) (тангаж=12град)

```
     30. 7.1999  16:57:11                    сценарий 1381


   масса ЛА = 210000.кг;   центровка =  30.0 %;   Н аэродр.=    0. м
   дел.Т =    8. град;   дел.р =   10. мм.рт.ст.;   muдес =  .70
   закрылки 30. град;   предкрылки 25. град;   стаб.УПС =  -6.0 град
.......................................................................
         Событие  N    1  "  Начало этапа полета     "
  время  .....      .000    с      дальн-ть.....      .000    м
 высота ш.....      .000    м      бок.откл.....      .000    м
 высота ш.....      .000    м      инд.скор.....      .036   км/ч
 верт.ск......      .000   м/с     перегр.у.....     1.000
.......................................................................
        В Р Е М Я   .....     .00   с
  Открыта единственная задача, принята к выполнению.
.......................................................................
        В Р Е М Я   .....     .00   с
   Старт решения задачи  N    1  "  ПУТЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ НА РАЗБЕГЕ   "
              Вектор управления:
    10 ( р.направ )     4 ( штурв.эл )
              Векторы наблюдения:
    11 ( скольжен )    12 (   крен   )
    23 ( угл.ск.у )    22 ( угл.ск.х )
   150 ( уг.уск.у )   149 ( уг.уск.х )
.......................................................................
         Событие  N    4  "  Скорость'Vr'достигнута  "
  время  .....    56.249    с      дальн-ть.....  2236.456    м
 высота ш.....      .000    м      бок.откл.....      .000    м
 дальн-ть.....  2236.456    м      инд.скор.....   255.021   км/ч
 верт.ск......      .003   м/с     бок.откл.....      .000    м
.......................................................................
        В Р Е М Я   .....   56.25 с
    Открытие процедуры   2 " РУЛЬ ВЫС."НА СЕБЯ" "
           через   .000 с
      Вектор управления:    3
                    р.высоты
                    15.000
.......................................................................
         Событие  N    7  "  Передн.стойка в воздухе "
  время  .....    57.349    с      дальн-ть.....  2315.447    м
 высота ш.....      .000    м      бок.откл.....      .000    м
 верт.ск......      .066   м/с     траектор.....      .052   град
 инд.скор.....   258.207   км/ч     тангаж .....     1.361   град
.......................................................................
        В Р Е М Я   .....   57.90 с
    Закрытие процедуры   2 " РУЛЬ ВЫС."НА СЕБЯ" "
      Вектор управления:    3
                    р.высоты
                   -20.000
.......................................................................
         Событие  N    6  "  Лев.пер.ст. в воздухе   "
  время  .....    58.849    с      дальн-ть.....  2424.629    м
 высота ш.....      .000    м      бок.откл.....      .000    м
 верт.ск......      .640   м/с     траектор.....      .500   град
 инд.скор.....   261.771   км/ч     тангаж .....    10.375   град
.......................................................................
```

.....

Событие N 11 " Пр.пер.стойка в воздухе "
время ..... 58.849 с дальн-ть..... 2424.629 м
высота ш..... .000 м бок.откл..... .000 м
верт.ск..... .640 м/с траектор..... .500 град
инд.скор..... 261.771 км/ч тангаж ..... 10.375 град

.....

Событие N 28 " Тангаж > 10 град "
время ..... 58.849 с дальн-ть..... 2424.629 м
высота ш..... .000 м бок.откл..... .000 м
высота ш..... .000 м инд.скор..... 261.771 км/ч
тангаж ..... 10.375 град р.высоты..... -20.000 град

.....

В Р Е М Я ..... 58.85 с
Старт решения задачи N 4 " СТАБИЛИЗАЦИЯ ТАНГАЖА 12 ГРАД "
Вектор управления:
3 (р.высоты)
Векторы наблюдения:
14 (тангаж)
24 (угл.ск.z)

.....

Событие N 5 " Лев.зад.ст. в воздухе "
время ..... 59.349 с дальн-ть..... 2461.287 м
высота ш..... .293 м бок.откл..... .000 м
верт.ск..... 1.038 м/с траектор..... .810 град
инд.скор..... 262.149 км/ч тангаж ..... 13.932 град

.....

Событие N 12 " Пр.зад.стойка в воздухе "
время ..... 59.349 с дальн-ть..... 2461.287 м
высота ш..... .293 м бок.откл..... .000 м
верт.ск..... 1.038 м/с траектор..... .810 град
инд.скор..... 262.149 км/ч тангаж ..... 13.932 град

.....

Событие N 30 " Максимальный тангаж "
время ..... 59.399 с дальн-ть..... 2464.954 м
высота ш..... .341 м бок.откл..... .000 м
уг.атаки..... 18.043 град тангаж ..... 14.170 град
р.высоты..... 12.471 град инд.скор..... 262.152 км/ч

.....

Событие N 30 " Максимальная высота "
время ..... 64.399 с дальн-ть..... 2831.613 м
высота ш..... 4.088 м бок.откл..... .000 м
уг.атаки..... 17.512 град тангаж ..... 12.717 град
р.высоты..... 2.422 град инд.скор..... 262.795 км/ч

.....

Событие N 30 " Приземление "
время ..... 71.399 с дальн-ть..... 3351.285 м
высота ш..... .100 м бок.откл..... .000 м
уг.атаки..... 16.475 град тангаж ..... 12.057 град
р.высоты..... -2.444 град инд.скор..... 268.134 км/ч

.....

Событие N 99 " Конец расчетов "
время ..... 79.999 с дальн-ть..... 4003.134 м
высота ш..... .477 м бок.откл..... .000 м
инд.скор..... 273.572 км/ч возд. ск..... 275.599 км/ч

.....

Выполнено условие конца интегрирования.
Расчет варианта закончен.

ВЗЛЕТ ИЛ-76 N:76819 (Иркутск 26.07.99) (град.набора=0,4%)
30. 7.1999 16:52:51 сценарий 1381

масса ЛА = 210000.кг; центровка = 30.0 %; Н аэродр.= 0. м
дел.Т = 8. град; дел.р = 10. мм.рт.ст.; mudec = .70
закрылки 30. град; предкрылки 25. град; стаб.УПС = -6.0 град

.....

Событие N 1 " Начало этапа полета "
время ..... .000 с дальн-ть..... .000 м
высота ш..... .000 м бок.откл..... .000 м
высота ш..... .000 м инд.скор..... .036 км/ч
верт.ск..... .000 м/с перегр.у..... 1.000

.....

В Р Е М Я ..... .00 с
Открыта единственная задача, принята к выполнению.

.....

В Р Е М Я ..... .00 с
Старт решения задачи N 1 " ПУТЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ НА РАЗБЕГЕ "
Вектор управления:
10 (р.направ) 4 (штурв.эл)
Векторы наблюдения:
11 (скольжен) 12 (крен)
23 (угл.ск.у) 22 (угл.ск.х)
150 (уг.уск.у) 149 (уг.уск.х)

.....

Событие N 4 " Скорость'Vr'достигнута "
время ..... 56.249 с дальн-ть..... 2236.456 м
высота ш..... .000 м бок.откл..... .000 м
дальн-ть..... 2236.456 м инд.скор..... 255.021 км/ч
верт.ск..... .003 м/с бок.откл..... .000 м

.....

В Р Е М Я ..... 56.25 с
Открытие процедуры 2 " РУЛЬ ВЫС."НА СЕБЯ" "
через .000 с
Вектор управления: 3
р.высоты
15.000

.....

Событие N 7 " Передн.стойка в воздухе "
время ..... 57.349 с дальн-ть..... 2315.447 м
высота ш..... .000 м бок.откл..... .000 м
верт.ск..... .066 м/с траектор..... .052 град
инд.скор..... 258.207 км/ч тангаж ..... 1.361 град

.....

В Р Е М Я ..... 57.90 с
Закрытие процедуры 2 " РУЛЬ ВЫС."НА СЕБЯ" "
Вектор управления: 3
р.высоты
-20.000

.....

Событие N 6 " Лев.пер.ст. в воздухе "
время ..... 58.849 с дальн-ть..... 2424.629 м
высота ш..... .000 м бок.откл..... .000 м
верт.ск..... .640 м/с траектор..... .500 град
инд.скор..... 261.771 км/ч тангаж ..... 10.375 град

.....

```
.....
        Событие  N   11  "  Пр.пер.стойка в воздухе "
   время  .....    58.849    с      дальн-ть.....  2424.629    м
  высота ш.....      .000    м      бок.откл.....      .000    м
  верт.ск......      .640   м/с     траектор.....      .500   град
  инд.скор.....   261.771   км/ч     тангаж .....    10.375   град
.....
        Событие  N   28  "  Тангаж > 10 град        "
   время  .....    58.849    с      дальн-ть.....  2424.629    м
  высота ш.....      .000    м      бок.откл.....      .000    м
  высота ш.....      .000    м      инд.скор.....   261.771   км/ч
   тангаж .....    10.375   град    р.высоты.....   -20.000   град
.....
        В Р Е М Я   .....   58.85   с
   Старт решения задачи  N    4  "  СТАБИЛИЗАЦИЯ ГРАД.НАБОРА=0,4%   "
              Вектор управления:
     3 ( р.высоты )
              Векторы наблюдения:
   337 ( градиент )
    24 ( угл.ск.z )
.....
        Событие  N    5  "  Лев.зад.ст. в воздухе   "
   время  .....    59.349    с      дальн-ть.....  2461.286    м
  высота ш.....      .295    м      бок.откл.....      .000    м
  верт.ск......     1.033   м/с     траектор.....      .807   град
  инд.скор.....   262.146   км/ч     тангаж .....    13.858   град
.....
        Событие  N   12  "  Пр.зад.стойка в воздухе "
   время  .....    59.349    с      дальн-ть.....  2461.286    м
  высота ш.....      .295    м      бок.откл.....      .000    м
  верт.ск......     1.033   м/с     траектор.....      .807   град
  инд.скор.....   262.146   км/ч     тангаж .....    13.858   град
.....
        Событие  N   30  "  Максимальный тангаж     "
   время  .....    59.399    с      дальн-ть.....  2464.953    м
  высота ш.....      .344    м      бок.откл.....      .000    м
  уг.атаки.....    17.943   град     тангаж .....    14.080   град
  р.высоты.....    13.520   град    инд.скор.....   262.147   км/ч
.....
        Событие  N   30  "  Высота 4 м              "
   время  .....    64.399    с      дальн-ть.....  2831.653    м
  высота ш.....     4.206    м      бок.откл.....      .000    м
  уг.атаки.....    17.832   град     тангаж .....    13.255   град
  р.высоты.....     -.807   град    инд.скор.....   262.562   км/ч
.....
        Событие  N   15  "  Высота уборки шасси     "
   время  .....    70.599    с      дальн-ть.....  3288.473    м
  высота ш.....     5.009    м      бок.откл.....      .000    м
   тангаж .....    13.602   град    верт.ск......      .294   м/с
  инд.скор.....   263.714   км/ч    бок.откл.....      .000    м
.....
        Событие  N   99  "  Конец расчетов          "
   время  .....    80.249    с      дальн-ть.....  4001.247    м
  высота ш.....     8.171    м      бок.откл.....      .000    м
  инд.скор.....   264.008   км/ч    возд. ск.....   266.061   км/ч
.....
Выполнено условие конца интегрирования.
Расчет варианта закончен.
```

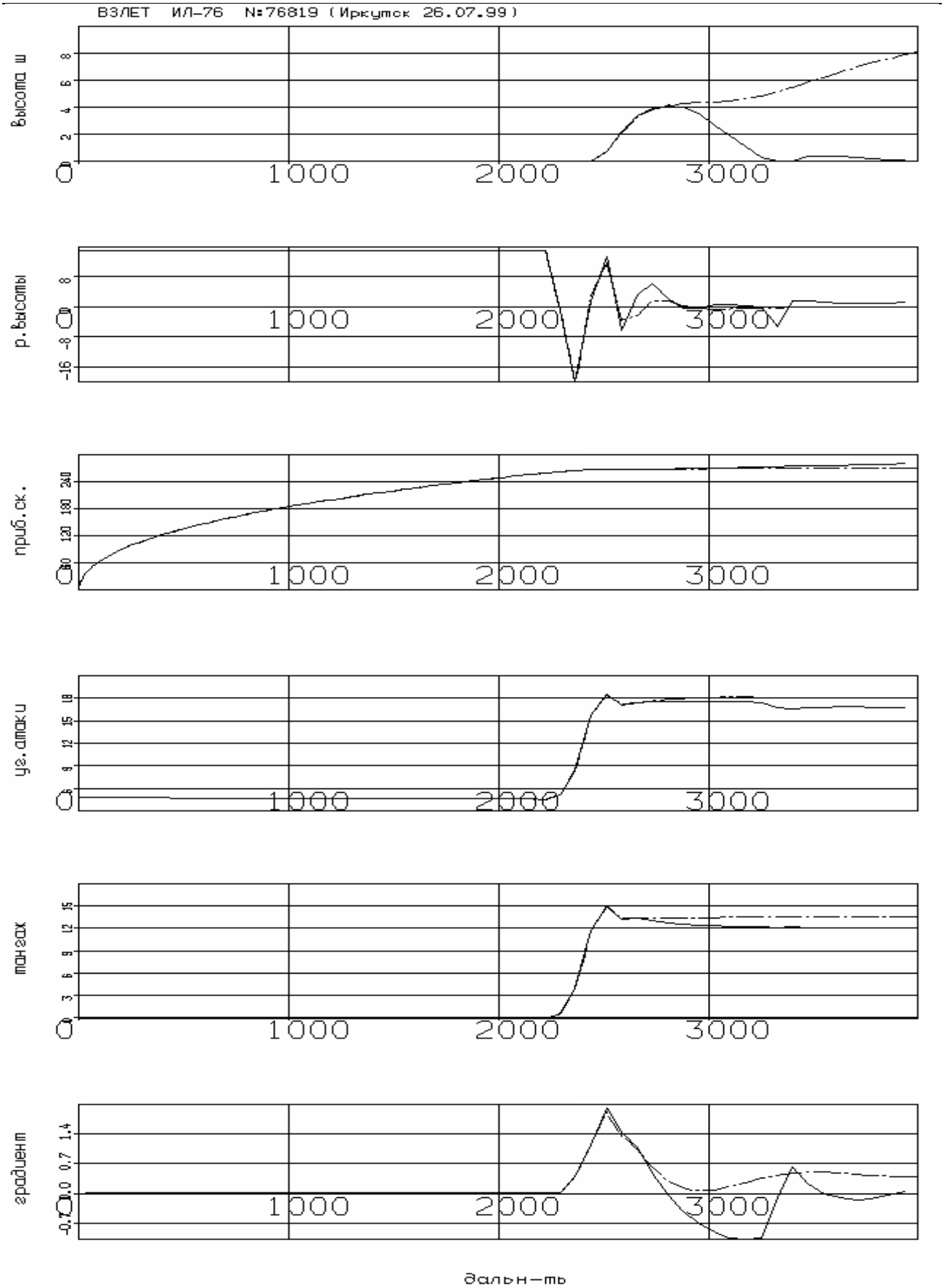
ВЗЛЕТ ИЛ-76 N:76819 (Иркутск 26.07.99)
высота ш
р.высоты
приб.ск.
уг.атак.и
тангах
градиент
0
1000
2000
3000
дальн-ть

Рис. 1.

2) существенный наклон ВПП в сторону исполнительного старта мог привести к эффекту, аналогичному недостатку тяги двигателей: снижение тяги двигателей на 10 % равносильно уклону ВПП 2,2 %;

3) недостаточная длина ВПП могла побудить пилота преждевременно начать подъем передней стойки и осуществить отрыв самолета от ВПП: по расчетам для отрыва самолета массой 210 т в нормальных условиях необходимы $V_R = 268$ км/ч по прибору и $V_{отр} = 275$ км/ч по прибору, для чего необходимо дополнительно более 300 м дистанции разбега;

4) ситуация могла усугубиться существенной потерей тяги одного из двигателей или сильным боковым ветром, что привело бы к необходимости использовать крен и скольжение в момент отрыва, ухудшающие аэродинамические характеристики взлета.

При получении записей МСРП, сведений о состоянии самолета и данных о ВПП возможна более точная идентификация индивидуальных параметров и особенностей пилотирования самолета, приведших к аварии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кубланов М.С. Идентификация математических моделей по данным летных испытаний самолета Ил-96-300// Решение прикладных задач летной эксплуатации ВС методами математического моделирования/ Моск. гос. технич. ун-т гражд. авиации. – М., 1993. – С. 3 – 10.

2. Кубланов М.С. Идентификация математической модели посадки самолета Ту-154Б по данным летных испытаний// Научный вестник МГТУ ГА, № 15, сер. Аэромеханика и прочность/ Моск. гос. технич. ун-т гражд. авиации. – М., 1999. – С. 27 – 36.

Kublanov M.S.

Results of possible path calculations without known airborne recorder data are cosidered.

Сведения об авторе

Кубланов Михаил Семенович, 1945 г.р., окончил МГУ (1968), ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент МГТУ ГА, автор свыше 60 научных работ, область научных интересов – механика, математические методы моделирования.