

Навигационно-пилотажный комплекс самолета Ту-144Д для Microsoft Flight Simulator X

В этом документе дается описание состава, устройства и работы модели навигационно-пилотажного комплекса Ту-144Д. Сразу хочу сказать, что моделирование НПК производилось по довольно скудной информации из РЛЭ самолета №77106, оборудование которого несколько отличается от установившегося состава приборного оборудования на серийных самолетах Ту-144 и Ту-144Д, а недостаток информации возмещался проведением аналогий с навигационным комплексом Ил-86 «Пижма», благо РЛЭ Ил-86 с подробным описанием ПНК имеется в свободном доступе, а для симулятора имеется прекрасная модель Ил-86. Поэтому алгоритмы представленной навигационной системы могут несколько отличаться от имевших место на реальном самолете, но общий принцип и основные функции, как я надеюсь, смоделированы верно. Если кто-нибудь обладает более точной информацией о НПК Ту-144, прошу поделиться ей (можно на форуме avsim.su).

1. Общие положения.

Навигационно-пилотажный комплекс самолета Ту-144Д (далее – НПК-144) включает в себя множество систем и приборов (СВС, ДИСС, РСБН, ИС, Курс-МП), объединенных в единый комплекс с помощью цифровой вычислительной машины (ЦВМ), основная задача которой – производство навигационных вычислений для обеспечения полета по заданному маршруту. Принцип работы навигационной системы заключается в непрерывном счислении географических координат самолета (численном интегрировании по времени северной и восточной составляющих путевой скорости). Для этого в ЦВМ поступают сигналы от ДИСС (а при ее отказе – от СВС), по которым вычисляются продольная и поперечная (относительно самолета) составляющие путевой скорости, а также сигнал приведенного курса от курсовой системы (на Ту-144, насколько я понял, она называется Румб и состоит из трех инерциальных курсоввертикалей), по которому вычисляется истинный курс и вычисляются северная и восточная составляющие скорости. Коррекция счисленных координат производится автоматически по сигналам от радиосредств (по маякам РСБН или VOR-DME) или вручную, если известны поправки к ортодромическим (относительно ЛЗП) или географические координаты в какой-то момент времени.

ЦВМ выдает сигналы истинного курса, заданного путевого угла (ЗПУ), ортодромических координат в АБСУ для автоматического полета по маршруту, а также для отображения их на ПНП.

2. Пульты управления НПК-144.

Рассмотрим подробно пульты, с которых производится управление и настройка навигационного комплекса, заодно познакомившись с его функциями.

Прежде всего, расскажу о вызове этих пультов на экран в симуляторе. На приведенном скриншоте указаны соответствующие мышинные зоны:



Зона 1 вызывает два пульта: при нажатии на неё **правой** кнопкой мыши появляется пульт подготовки и контроля (ППК), при нажатии **левой** кнопкой – пульт курсов (ПК), расположенный на дополнительной панели вместе с некоторыми необходимыми приборами, принадлежащими в реальном самолете (и в виртуальной кабине) панели второго пилота.

Зона 2 вызывает штурвальный пульт АБСУ, а при нажатии на неё **правой** кнопкой – пульты ввода и индикации (ПВИ). Также ПВИ могут быть вызваны сочетанием клавиш Shift+2 (в MSFS 2004 – Shift+1).

Рассмотрим пульт ППК. В кабине самолета и в ВК он расположен на боковом пульте правого пилота в районе его правого подлокотника. На нем расположен главный галетный переключатель – «Режим НК», а также тумблер «Обогрев НК», позволяющий ускорить прогрев оборудования перед включением при низких температурах воздуха, галетник выбора режима выставки инерциальных систем (не задействован, доступна только выставка от ГВУ), тумблер включения режима проверки введенного в память ЦВМ маршрута, галетник выбора номера ППМ в режиме «Имитация», кнопки контроля СВС и ИС (последняя не задействована) и лампы «Работа ЦВМ», «Подгот разреш.», «Пит. Подано», «НК готов» и «Отказ ЦВМ».



Теперь посмотрим на дополнительную панельку с пультом курсов. Собственно пульт курсов служит для контроля курса самолета, определенного инерциальными системами или вычисленного ЦВМ. Вот расшифровка обозначений положения галетника «Курс»:

Кпр1,2,3 – приведенный курс – угол между истинным меридианом, в котором производилось согласование приведенного курса, и продольной осью самолета.

Кпр зад – заданный приведенный курс, угол между меридианом согласования и ЛЗМ, т.е. ЗПУ.



МК1,2,3 – текущий гиромагнитный курс самолета (относительно текущего магнитного меридиана).

ИК1 – истинный курс, вычисленный ЦВМ.

Кпп1,2 – курс, отображаемый на левом и правом ПНП (может быть приведенным, истинным или магнитным в зависимости от ситуации).

Кнопка «СОГЛАС Кпр» не задействована, так как, судя по всему, она служит для согласования приведенного курса в автономном режиме работы НК, а этот режим пока не реализован.

Рядом располагается задатчик магнитного склонения. Есть также всплывающая подсказка текущего магнитного склонения, появляющаяся при наведении мышки на колпачок предохранителя в нижнем правом углу пульта.

Кстати, все галетники и ручки можно вращать колесиком мыши.

Над пультом расположен блок табло, из которых пока осмыслены только горящие на рисунке и табло «Перекл. марш.-аэр.», рекомендующее пилоту переключить находящийся рядом тумблер.

В правой части панели находятся индикаторы дальности до радиостанции (верхний – VOR1, нижний – VOR2 и РСБН) и азимута самолета относительно маяка РСБН, а также табло сигнализации выпущенной механизации и шасси и задатчики радиала VOR из комплекта Курс-МП.

И, наконец, мы переходим к изучению главного пульта навигационной системы, с которым производится основной объем работы на земле и в полете. В кабине самолета он расположен на центральном пульте пилотов перед РУД.

Пульт ПВИ разделен на три части: правая верхняя предназначена для индикации различных параметров, права нижняя – для ручного ввода информации в ЦВМ, левая – для управления и индикации дополнительных функций ЦВМ.

Прежде всего, нужно разобраться с форматом вывода параметров на цифровые механические (барабанчиковые) индикаторы в количестве двух штук, обозначенные римскими цифрами I и II. То, какая именно информация на них выводится, определяется нажатой и горящей в данный момент зеленой кнопкой лампой под этими индикаторами. На каждой кнопке имеется две надписи (сверху и снизу), соответствующие верхнему и нижнему индикатору. Ниже дана расшифровка каждой кнопки и пример отображаемого на индикаторах числа.



Пульты ввода и индикации



- в режиме полета по маршруту – частноортодромические координаты самолета Z (боковое отклонение от ЛЗП) и S (расстояние до следующего ППМ вдоль ЛЗП со знаком «-»), в режиме полета в зоне аэродрома – координаты X и Y относительно центра ВПП, причем ось Y направлена вдоль оси ВПП, а ось X ей перпендикулярна и направлена вправо. Единицы измерения координат – километры, точность – до десятков метров.

Пример: I 00245км Z=2,45 км
II -28752км S=-287,52 км.



- пока не задействована, используется для контроля следования маршруту в вертикальной плоскости (по высоте), как работает данный режим – не ясно.



- азимут (направление, магнитный курс) взлетно-посадочной полосы аэродрома и рулежной дорожки (последнее не задействовано). Единицы измерения – градусы, минуты, десятки секунд.

Пример: I 1373020 Курс ВПП 137°30'20".



- поправки к ортодромическим координатам для коррекции по радиомаякам или вручную. Формат вывода такой же, как у ортодромических координат. На приведенном выше скриншоте поправка к Z равна -0,82 км, а поправка к S равна 0,78 км.



- текущие численные географические координаты самолета. Верхний индикатор (φ, «фи») – широта, нижний (λ, «лямбда») – долгота. Формат вывода – аналогично азимуту ВПП.

Пример: I C0563750 56°37'50" северной широты
II B0374120 37°41'20" восточной долготы.



- широта и долгота промежуточного пункта маршрута (ППМ).



- широта и долгота аэродрома.



- широта и долгота радиомаяка.



- скорость и направление ветра. Скорость ветра указывается в километрах в час (формат аналогичен ортодромическим координатам), направление – в градусах, минутах и секундах, соответствует истинному курсу, *куда* дует ветер. Обратите внимание, что в симуляторе по Shift+Z направление ветра указывается по-другому – *откуда* дует ветер.



- единственная кнопка с одной надписью, информация выводится только на верхний индикатор. А выводится туда вводимый код, об этом чуть позже.



- текущее время и введенное время прибытия в аэропорт назначения. Формат – часы, минуты и секунды (аналогично географическим координатам).



- порядковый номер радиомаяка в памяти ЦВМ и номер канала РСБН или частоты VOR-DME. Целая часть выводится до знака градуса и надписи «час», дробная – в поле минут. На крайний правый разряд (секунд) не обращаем внимание.

Пример: I 00003км третий радиомаяк,
II 02800км тип маяка – РСБН, 28-й канал.

Пример: I 00005км пятый радиомаяк,
II 11460км тип маяка – VOR-DME, частота 114,6 мегагерц.



Кроме этих кнопок, здесь же расположена кнопка-лампа «Подск.», включающая и выключающая режим «подсказки», в котором при нажатой кнопке на индикаторах отображаются номер и частота радиомаяка, выбранного ЦВМ для коррекции (ЦВМ в модели выбирает ближайший к самолету маяк из введенных в ЦВМ) или выбранного для коррекции принудительно.

Кнопка «Ввод» загорается при вводе данных и подтверждает ввод.

Переключатель коррекции служит для включения и выключения режима непрерывной коррекции по радиомаякам.

Теперь разберемся с нижним правым пультом с цифровой клавиатурой, предназначенной для ввода информации в ЦВМ, и окошком индикатора кодового номера. Об этом номере будет рассказано ниже, пока скажу только, что это номер ячейки памяти ЦВМ, в которую производится запись введенного числа.

Порядок ввода чисел в ЦВМ

1. Нажать одну из зеленых кнопок-ламп, выбрав тип информации, которая будет вводиться.
2. При необходимости набрать двузначный кодовый номер.
3. Нажать кнопку или для обнуления верхнего или нижнего цифрового индикатора.
4. Нажать кнопку со знаком вводимого числа, или при вводе географических координат – с буквой, соответствующей полушарию (северное, южное, западное или восточное). Знак не вводится при вводе азимута ВПП, кода, времени и номера канала или частоты радиомаяка.
5. Набрать, наконец, собственно число (как на калькуляторе). Введенная цифра отображается в крайнем правом окошке индикатора, по мере набора вводимое число как бы сдвигается влево, пока не займет весь индикатор. Нули перед числом вводить не надо, а вот пустые разряды в конце – обязательно. В случае ошибки нажатие кнопки «сброс» стирает последнюю набранную цифру, повторное нажатие стирает все введенное число целиком.
6. Если необходимо набрать число и на втором индикаторе, то переходим к пункту 3, иначе – ждем на загоревшуюся кнопку , при этом введенное число записывается в память ЦВМ,

кнопка «Ввод» гаснет, на индикаторах индицируется введенное число.

Реализован ввод с цифровой клавиатуры компьютера. Для этого необходимо нажать на мышиную зону на правом верхнем винтике пульта ввода (правого нижнего), появится красный прямоугольник, свидетельствующий о включенном режиме ввода с клавиатуры. Кнопки + и – цифровой клавиатуры соответствуют верхней и нижней кнопкам «Сброс», кнопка Enter (не на цифровой клавиатуре, а на основной) – кнопке «Ввод». Обратите внимание, что для ввода с клавиатуры NumLock должен быть выключен (лампочка на клавиатуре гореть не должна).

Осталось рассказать о том, что показывается в окошках цифровых индикаторов на левом пульте. «Полет на N ППМ» - это номер следующего ППМ, к которому ведет текущая ЛЗП.

Располагаемое расстояние – это путь, который может пролететь самолет с текущим запасом топлива с учетом АНЗ и топлива на снижение и посадку. Алгоритм расчета этого расстояния таков, что выводимое расстояние корректно только в режиме установившегося горизонтального полета на эшелоне (так как используется текущие мгновенный расход топлива и путевая скорость). Выводятся 3 цифры, для определения расстояния нужно к ним мысленно приписать справа 0, т.е. на вышеприведенном скриншоте располагаемое расстояние равно 2100 км.

Располагаемое время – это время полета, снижения и захода на посадку при полном расходовании топлива (с остатком, равным АНЗ) – аналогично располагаемому расстоянию. На скриншоте располагаемое время равно 1 часу и 8 минутам.

Оставшееся расстояние – это, в зависимости от положения тумблера «ППМ-АЭР.», расстояние до следующего ППМ или до аэродрома посадки (сумма оставшихся участков маршрута плюс расстояние по прямой от конечного ППМ до аэродрома). На скриншоте равно 2066 км.

Время прибытия – это расчетное время прибытия в следующий ППМ или на аэродром посадки с учетом текущей путевой скорости. Время указывается по московскому (GMT+4) или гринвичскому часовому поясу в зависимости от положения тумблера. И это время также рассчитывается правильно только в установившемся полете. Для того, чтобы оно отображалось правильно, необходимо перед полетом ввести в ЦВМ текущее время.

На этом описание пультов заканчивается, далее будет рассказано о порядке работы с НПК на земле и в полете.

Порядок работы с НПК-144.

Прежде всего, необходимо рассказать о структуре памяти ЦВМ. В ней имеется оперативное и постоянное запоминающие устройства (ПЗУ и ОЗУ). ОЗУ обнуляется при выключении питания ЦВМ, ПЗУ хранит введенную в него информацию и при выключенном питании (но в симуляторе не сохраняет информацию при завершении полета и выходе из программы).

В ОЗУ хранятся текущие координаты, различные переменные и т.д., а в ПЗУ – данные о маршруте полета. ПЗУ состоит из ячеек, пронумерованных по порядку и могущих хранить несколько чисел каждая. Номер ячейки памяти – это и есть «кодовый номер», отображаемый рядом с цифровой клавиатурой пульта ввода.

В ячейке №0, по традиции Степана Грицевского, хранятся текущие географические координаты самолета. В ячейках с 1 по 30 – координаты ППМ, с 31 по 40 – координаты оперативных ППМ, с 41 по 48 – координаты аэродромов и курсы их ВПП (по одной на аэродром), в 49 – координаты и курс ВПП оперативного аэродрома, в 50 – координаты и номер канала (или частота) оперативного радиомаяка, с 51 по 59 – координаты и номера каналов (частоты) программных радиомаяков. Ячейки с 70 по 79 зарезервированы для ввода кодов (пока задействованы только 70 (гироскомпасирование) и 72 (ввод начального и конечного ППМ маршрута)).

Главная особенность ПЗУ заключается в том, что ввод данных в нее (за исключением оперативных) может осуществляться только в режиме «Подготовка» НК.

Схема полета с использованием ЦВМ.

После взлета самолет направляется к первому ППМ (заданному как начальный ППМ) по кратчайшему расстоянию (горит лампа «Кратч. расст.»). На удалении, равном линейному упреждению разворота (ЛУР), от ППМ ЦВМ переключается на следующий ППМ, курсовая система выставляется по истинному меридиану, проходящему через пройденный ППМ. Далее полет происходит вдоль ЛЗП, соединяющей пройденный и следующий ППМ. При подлете на ЛУР происходит смена ЛЗП, и так далее до подлета к последнему ППМ (заданному как конечный ППМ), после чего самолет следует в режиме кратчайшего расстояния к аэродрому, заданному как аэродром посадки.

Если включен режим полета по кратчайшему расстоянию к выбранному ППМ или аэродрому, то после их пролета самолет переводится в режим стабилизации курса. Если режим полета по программному маршруту включается вновь, то самолет выводится по кратчайшему расстоянию на следующий ППМ, после чего продолжается полет по маршруту.

Файл с планом полета.

В ЦВМ Ту-144 не предусмотрен ввод информации в ПЗУ с перфокарт, как на Ил-86, но в модели аналогичная возможность имеется для ускорения предполетной подготовки в симуляторе. Это можно представить как если бы план полета был введен заранее, до начала подготовки к выполнению очередного полета.

Для этого в папке Doc_Tu-144D должен находиться файл flightplan.xml, который можно открыть Блокнотом и отредактировать в соответствии с планом следующего полета. В папках с названиями типа UDD-UAAA лежат примеры таких файлов, подготовленные мной для некоторых типовых маршрутов Ту-144. Из-за ограничений симулятора для xml-приборов файл имеет довольно специфический формат, о котором я постараюсь рассказать.

Итак, открыв этот файл, мы видим такую картину:

```
<Gauge Name="CVM_pult" Version="1.0">
```

```
<Image Name="CVM_bg.bmp" Luminous="No" ImageSizes="762,641,0,0"/>
```

```
<Macro Name="ppm">
```

```
43 36 0    76 19 34
```

```
43 58 20   76 20 9
```

```
44 49 47   74 34 56
```

```
47 43 10   67 45 33
```

```
@ppm3_input
```

```
49 38 0    63 29 0
```

```
51 38 0    56 36 0
```

```
52 15 0    54 19 0
```

```
52 34 0    49 59 0
```

```

@ppm2_input
56 6 36    45 2 24
53 41 0    41 41 0
54 21 0    38 14 0
55 23 44   37 56 34
@ppm1_input
</Macro>

<Macro Name="aerodrom">
43 20 28    77 1 8      53
55 23 44    37 56 34    147
@aerodrom1_input
</Macro>

<Macro Name="radio">
55 57 42    37 20 56    114.6
@radiomayak3_input
53 13.7 0    50 20.1 0    21
54 54.5 0    39 2.3 0     28
53 13.7 0    50 20.1 0    21
@radiomayak2_input
50 15 0      57 11 24     113.4
47 43 10     67 45 33     113.3
43 22.47 0   77 5.15 0    112.3
@radiomayak1_input
</Macro>

```

(то, что идет дальше, нас не интересует и изменяться не должно)

Тегами Macro размечены три раздела, в которых записана информация, попадающая в соответствующие ячейки памяти ЦВМ. Первый раздел – самый большой, это координаты ППМ маршрута. Координаты записываются в формате «градусы минуты секунды», сначала широта, затем долгота (широту и долготу удобно разделять табуляцией). Для записи западной долготы или южной широты нужно перед *каждым* числом поставить знак минус, т.е. S45*15'30'' будет выглядеть так: -45 -15 -30

Внимание! Координаты ППМ записываются в обратном порядке, т.е. сначала последнего ППМ, затем предпоследнего и т.д.

И последнее: как показано в этом примере, через каждые 4 ППМ (*начиная с конца списка*) необходимо добавлять строчку @ppm1_input, где цифра 1 заменяется на следующую по порядку (2,3 и т.д.).

Аналогично заполняются разделы аэродромов (дополнительно обязательно указывается курс ВПП) и радиомаяков (обязательно указать номер канала или частоту).

Да алгоритм получился очень сложным, но проще средствами xml сделать не получилось, а мне кажется, что составить такой файл все-таки быстрее, чем вбивать план в ЦВМ в симуляторе. К тому же, составив один раз такой файл, его можно использовать сколько угодно раз при полете по одному и тому же маршруту.

Достаточно удобно сначала проложить маршрут в планировщике полетов симулятора, сохранить в файл .pln, затем открыть этот файл в Блокноте и переписать оттуда координаты ППМ, а также аэродрома взлета и посадки, в файл для ЦВМ (формат файла .pln достаточно понятен). Для точного определения координат маяков РСБН можно заглянуть в прилагаемый файл RSBN_DAT.CFG.

Итак, мы познакомились общим принципом работы, внешним видом и работой с пультами и подготовкой плана полета. Теперь я постараюсь подробно описать последовательность работы с навигационно-пилотажным комплексом Ту-144Д в симуляторе MSFS X на примере выполнения конкретного полета по наиболее известному маршруту для Ту-144 Домодедово – Алма-Ата.

Полет по маршруту Москва – Алма-Ата

Сначала, разумеется, надо спланировать полет (я делаю это в планировщике полета симулятора) и выписать координаты ППМ, радиомаяков и аэродромов (или составить файл плана полета для ЦВМ, как описано выше).

Затем следует рассчитать необходимый запас топлива (желательно учесть средний ветер по маршруту) с помощью топливного калькулятора.

В этом описании полета я буду уделять внимание, в основном, только работе с НПК, предполагая, что работу с другими системами и пилотирование самолета Вы изучили по РЛЭ и Описанию модели.

Итак, загружаем полет, находясь на стоянке в аэропорту Домодедово, заправив необходимое количество топлива. Самолет «темный и холодный» и нам предстоит провести подготовку НПК с самого начала. Далее я расскажу, как сразу привести НК в состояние готовности, как если бы подготовку произвели до нас, или самолет только что вернулся из рейса.

Убедившись, что прогрузились дополнительные панели (автоматически появились и исчезли с экрана), переходим на панель БИ и включаем аккумуляторы и аэродромное питание (или ВСУ) и выпрямители 2 и 3. Теперь, когда сети запитаны, можно начать подготовку НК.

Вызываем пульт подготовки и контроля (ППК) и переводим галетник «Режим НК» в положение «Вкл.» (можно для ускорения прогрева включить тумблер «Обогрев НК»). Через примерно 80 секунд загорятся табло «Пит. подано» и «Подгот. разреш.» Это означает, что НК прогрелся и готов к началу работы. В данном режиме включаются следующие системы: ЦВМ, ИС, пульта ПВИ. Начинается процесс автоматической выставки инерциальных систем от ГВУ, длящийся 30 минут. В течение этого времени горит табло «Нет рез. Румб» на панельку пульта курсов (ПК). В течение выставки можно наблюдать за приходом курсовой системы к истинному курсу по движению индикатора курса на ПК в режиме «ИК» (с 4-й минуты после включения). После погасания табло «Нет рез. Румб» наблюдается движение шкалы крена и тангажа ПКП и индекса УУТ-144.



После загорания табло «Подгот. разреш.» можно перевести галетник в положение «Подгот.». В этом режиме включаются Курс-МП, СДК-67, РСБН (если включены соответствующие тумблеры на оверхеде), СВС, ДИСС, УУТ, ЗМС (задатчик магнитного склонения), ПК. Гаснут табло «Пит. подано» и «Подгот. разреш.», на 2-3 мин. загорается табло «Отказ ДИСС», загорается табло «Раб. ЦВМ».

В этом режиме нужно произвести ввод плана полета в ЦВМ (если не был подготовлен файл). Прежде всего вводится АНЗ. Для этого нужно правой кнопкой мыши открыть колпачок над кнопкой-лампой «Ввод АНЗ», нажать эту кнопку, затем нажать «Сброс I», набрать АНЗ в тоннах и сотнях кг (например, для ввода 10 т нажать 1 0 0) и нажать кнопку «Ввод», после чего закрыть колпачок.

Затем введем текущее время. Для этого нажмем кнопку-лампу , затем и наберем время (например, для 12:15:00 нажимаем 1 2 1 5 0) и нажмем

Теперь введем номера начального и конечного ППМ маршрута (для составленного мной плана это 1 и 12). Для этого нажмем кнопку «Код», наберем номер кода (в данном случае 72), который отобразится в поле «кодový номер», нажмем и наберем код, состоящий из последовательно записанных номера первого и последнего ППМ (обязательно двузначных,



если номер первого ППМ меньше 10, то первым делом нажимает на 0), т.е. в моем случае набираем 0112. Затем нажимаем «Ввод».

Далее вводим координаты центра ВПП аэродрома взлета (можно ввести координаты стоянки, «подсмотренные» по Shift+Z, погрешность будет не очень большой). Нажимаем  и вводим географические координаты описанным выше способом.

Переводим переключатель «Аэродром посадки» в нужное положение (в моем случае аэродром посадки имеет номер 2) и нажимаем загоревшуюся кнопку «Исполнение».

Осталось дожидаться окончания подготовки НК, определяемого загоранием табло «НК готов» на ППК. Можно также произвести проверку СВС, нажав кнопку «Контроль СВС», при этом на приборах отрабатываются следующие значения:

- на указателе истинной скорости и числа Маха 800 км/ч и $M=0,693$
- на высотомере и ИВР $H=5000$ м
- на ИВР и указателе приборной скорости 632 км/ч.

Также можно выполнить проверку правильности ввода первых 10 ППМ с помощью режима «Имитация» ЦВМ. Для этого включим тумблер «Проверка прогр. марш.» на ППК и последовательно попереключаем галетник «ЦВМ имитация» в положения 1-10. На ПНП будут отрабатываться ЗПУ и S соответствующих участков маршрута. После этого отключим тумблер «Проверка прогр. марш.»

Осталось дожидаться загорания табло «НК готов» (через 30 мин. после перевода НК в режим «Подготовка»). После этого рекомендуется выдержать НК в этом режиме еще 30 мин. для запоминания ухода гироскопов и повышения точности (в модели – в 3 раза) работы курсовой системы в полете (коррекция курса в полете не предусмотрена). Допускается пользоваться ускорением времени в симуляторе. В это время можно запустить ВСУ, СКВ, включить и проверить остальные системы самолета. Не допускается тряска самолета, посадка пассажиров и загрузка багажа, запуск двигателей.

Для завершения процесса подготовки переводим галетник «Режим НК» в положение «Руление», в котором он и должен оставаться на протяжении всего оставшегося полета. Гаснут табло «НК готов» и «К буксировке не готов» (на центральной панели пилотов).

Теперь можно проконтролировать правильность введенного маршрута по окошку «Оставшееся расстояние» в режиме «Аэр.» - должна отображаться протяженность маршрута. Если отображаемое расстояние некорректно – проверяем координаты ППМ и аэродрома, а также текущие координаты самолета. ПВИ должен выглядеть так:



Лучше сразу включить тумблер «Счисление», чтобы потом не забыть. Счисление начнется после достижения приборной скорости 220 км/ч.

Всё, НК готов к выруливанию, можно загружать пассажиров, запускать двигатели и выруливать на исполнительный старт.

В процессе выруливания неплохо будет настроить радиосредства для коррекции сразу после взлета. Получим для этого «подсказку» от ЦВМ.

Нажмем кнопки и , после чего прочитаем на нижнем индикаторе номер канала или частоту VOR радиомаяка, который ЦВМ выбрала для коррекции (ближайшего из введенных в ее память). В зависимости от увиденного настраиваем на оверхеде частоту VOR на СДК-67 №1 (левом) или канал РСБН («Свод-дорога») и устанавливаем галетник «Коррекция» в положение РСБН или VOR-ДМЕ. Если все сделано правильно, то табло «Смени канал» на панели КВС погаснет. Как только будет пойман сигнал радиостанции, ЦВМ начнет вычислять поправки к текущим координатам и отображать их при нажатии .

На предварительном старте производим гирокомпасирование (согласование приведенного курса с истинным), для чего нажимаем следующую последовательность

кнопок: (мы ввели код 1 по адресу 70). Визуально ничего не изменится, но на пульте курсов можно будет убедиться, что приведенный курс (Кпр) совпадает теперь с истинным (ИК).

Теперь можно выруливать на исполнительный и взлетать (действия по подготовке к взлету, не связанные с НК, я опускаю). Поехали!



Подъем носовой опоры производим плавно, без рывка, после отрыва и разгона до 400 км/ч штурвал придется отдать от себя до уборки ПК.

На высоте 400 метров, одновременно с началом уборки ПК, можно начать разворот на первый ППМ. В нашем плане полета координаты первого ППМ совпадают с координатами аэропорта, что не совсем удобно, так как пройти над аэропортом вылета с учетом большого радиуса разворота довольно проблематично. Поэтому воспользуемся режимом полета по кратчайшему расстоянию на выбранный ППМ. Для этого переведем галетник «Маршрут» в положение ППМ, а галетник «N ППМ» установим в положение 2 и нажмем загоревшуюся кнопку «Исполнение». Теперь на ПНП индицируется курс на второй ППМ, а также расстояние до него (около 130 км).

Переведем АБСУ в режим автоматического полета по маршруту, нажав кнопки «Продол.», «Марш» (левую) и стрелку влево на штурвальном пульте. Самолет развернется и будет удерживать курс на ППМ. Набор высоты производим по плану, перекачивая топливо и регулируя горизонтальную скорость по графику на ИВР.

Для того, чтобы после пролета второго ППМ самолет продолжил движение по маршруту, вернемся в программный режим навигации: галетник «Маршрут» в положение «прогр.» и нажмем кнопку «Исполнение». Визуально ничего не изменится, но на удалении, равном расчетному ЛУР до ППМ, ЦВМ переключится на следующий участок маршрута.

Самое время провести коррекцию по радиомаяку. Если перед взлетом все было настроено в соответствии с подсказкой ЦВМ, то сделать это будет совсем несложно, убедившись, что связь с радиомаяком установлена (на ИДР устойчивые показания дальности и азимута). Нажимаем кнопку , оцениваем правдоподобность индицируемых на счетчиках поправок к боковому уклонению и дальности (в моем случае они составили 1,78 и 1,81 км) и нажимаем загоревшуюся кнопку «Ввод». Поправки должны обнулиться (это может произойти не сразу, а через пару секунд). Все, коррекция произведена. На скриншоте показано состояние приборов перед нажатием кнопки «Ввод».



В диапазоне чисел М от 0,9 до 1,2 я рекомендую управлять самолетом в ручном режиме хотя бы в продольном канале (по тангажу) из-за большой вероятности появления раскочки при переходе на сверхзвук. При этом, конечно, потребуются значительное триммирование штурвала и снижение вертикальной скорости до нуля для скорейшего прохода этой трансзвуковой области.

Ну вот мы перешли на сверхзвук, и сменили ЛЗП на следующую (от ППМ 2 к ППМ 3). Дальше полет проходит спокойно: набираем крейсерскую высоту и число Маха, включаем удержание высоты или маршрутный режим тангажа на штурвальном пульте и, откинувшись на спинку кресла, следим за выполнением крейсерского полета. При загорании табло «Смени канал» получаем подсказку от ЦВМ и настраиваем радиосредства, контролируем поправки и производим по необходимости коррекции. Можно включить режим непрерывной коррекции для чего переключаем тумблер рядом с кнопкой «Ввод» в положение «Непр. корр.» и нажимаем загоревшуюся кнопку «Ввод». Загорится табло «Коррекц. координ.», а поправки будут непрерывно вводиться в ЦВМ. Этот режим автоматически выключается при потере связи с радиомаяком или при возвращении тумблера в положение «Разов. корр.»

Через некоторое время после выхода на эшелон, когда режим полета установится, можно начать доверять показаниям индикатора располагаемого расстояния и времени, оно не должно быть намного меньшим оставшегося расстояния до аэродрома посадки.

Снижение удобно начинать, ориентируясь по показаниям оставшегося расстояния. Дальность снижения выдает топливный калькулятор, в процессе снижения можно увеличить проходимое расстояние (если очевидно, что снижаемся слишком рано), если не опускать ОНФ при проходе «ступеньки» на графике ИВР на высоте 7 км – ОНФ создает значительно сопротивление.

Таким образом, примерно за 450 км начинаем снижение, планируя заранее заход на посадку. В данном примере мы воспользуемся стандартной схемой «коробочка», выйдя с помощью ЦВМ к точке 3-го разворота, которую наметим на удалении 20 км от ВПП, ширину «коробочки» примем равной 8 км.

Когда расстояние по прямой до аэродрома посадки станет меньше 100 км, загорится табло «Перекл. марш.-аэр.», говорящее о том, что самолет вошел в зону аэропорта и пора переключить тумблер «Маршрут-аэродром». Перед этим на задатчике магнитного склонения нужно накрутить МС аэродрома посадки (или хотя бы текущее МС, которое можно узнать по всплывающей подсказке над предохранителем на ПК). В режиме «Аэр.» на ПНП индицируется магнитный курс относительно магнитного меридиана аэродрома посадки, под ним горит лампа «Мк пр», а на ПВИ в режиме  отображаются координаты самолета относительно ВПП: верхний индикатор (X) показывает боковое удаление от оси ВПП, причем положительным значениям соответствует положение самолета справа от ВПП, а нижний (Y) – расстояние до ВПП вдоль ее оси, причем положительные значения соответствуют положению самолета перед ВПП. Ориентируясь по этим показаниям, можно вывести самолет в любую точку «коробочки». Например, намеченная точка третьего разворота имеет координаты (-8;-20), четвертый разворот (0;-20).

В этом режиме стрелка заданного путевого угла на ПНП продолжает указывать ЗПУ текущей ЛЗП, а самолет продолжает лететь по программному маршруту. После пролета последнего ППМ (номер 12) самолет разворачивается на аэродром посадки и будет следовать на него по кратчайшему расстоянию, если не вмешаться в управление. Нам нужно попасть на третий разворот, поэтому ставим тумблер «N полосы» в нужное положение (1 – курс полосы равен введенному в память ЦВМ для данного аэродрома, 2 – обратный курс той же полосы), мы будем садиться с курсом 53, поэтому оставляем этот тумблер в положении 1. Теперь включаем режим удержания крена (стаб. бок.) и ручкой «Крен» направляем самолет к третьему развороту. Тут надо проявить пространственное решение: глядя на координаты X и Y, зная курс полосы и текущий курс самолета, нужно примерно прикинуть курс на заданную точку. В нашем случае для выхода в точку с координатами (-8;-20) удобно сначала привести координату Y к значению -20 км (я выбрал курс 110), а затем лететь перпендикулярно ВПП (с курсом 143) с постоянным значением Y, дожидаясь нужного значения X. В это время на оверхеде настраиваем частоту ИЛС на втором задатчике частоты VOR (первый нужен для коррекции ЦВМ) и переключаем галетник «ПНП левый» в положение «ЗПУ2», не забыв ввести курс ВПП на задатчике. Если сигнал от ИЛС есть, загорится табло «Подгот. посадку», рекомендуемое нажать кнопку «Подгот. посад.», что мы и сделаем.



Не забываем следить за высотой, выпускать переднее крыло и шасси, снижать скорость и включить автомат тяги.

Подходя к четвертому развороту, разворачиваемся для перехвата курсового луча ИЛС. В принципе, можно доверить это автопилоту, нажав кнопки «Курс» и «Глисс» и стрелку влево на штурвальной пулте. Включение удержания глиссады (стрелка вправо) включится автоматически при подходе к глиссаде.

Следующий скриншот показывает полет по глиссаде:



Далее все как обычно: на ВПР переходим в штурвальный режим, на 10 м ставим малый газ, отключая АТ пересиливанием, аккуратно производим приземление, тормозимся парашютом (мы же не забыли открыть крышечку над кнопкой выпуска парашюта на оверхеде еще в полете ☺) и колесными тормозами.



Заруливаем на стоянку, выключаем двигатели. Полет окончен, благодарю за внимание



Ах да, я обещал рассказать, как быстро подготовить НПК к полету. Для этого, загрузив полет и оказавшись в «темном и холодном» самолете, нужно вызвать сервисную панель (с кнопками вызова трапов, тягача и открытия дверей) и нажать на ней кнопку «Подгот. ПНК». При этом на борт будет подано питание от РАП, НПК перейдет в режим «Руление», в ЦВМ будут введены координаты стоянки и текущее время (останется задать АНЗ).

Дополнительные способы коррекции

Номер радиомаяка, используемого для коррекции, ЦВМ выбирает самостоятельно по принципу ближайшего. Однако при желании можно принудительно задать для коррекции другой маяк, если при этом выполнены следующие условия:

- этот маяк есть в памяти ЦВМ (введен при подготовке или в полете как оперативный);
- с этим маяком установлена устойчивая радиосвязь через NAV1 или РСБН и переключатель «Коррекция» установлен в соответствующее положение.

Если эти условия выполнены, то нужно выбрать режим  , нажать кнопку  , затем  и набрать номер выбранного маяка (не номер ячейки памяти, а порядковый номер, для оперативного РМ - «0», для маяка, введенного в ячейку 51 - «1» и т.д.), после чего нажать  . ЦВМ перейдет на вычисление поправок по сигналам выбранного маяка и вернется к самостоятельному выбору маяка при потере связи с выбранным.

Помимо коррекции по радиомаякам предусмотрена возможность ручного ввода поправок, ортодромических или географических координат. Производится это аналогично обычному вводу чисел в ЦВМ: сбросить показания нужного индикатора, ввести координату, нажать «Ввод». На «Кодовый номер» при этом обращать внимание не нужно. А сами поправки или координаты можно узнавать различными способами: путем пролета через точку с известными географическими координатами (например, над радиомаяком VOR или ОПРС), причем в этом случае нужно сбросить показания индикаторов и ввести координаты заблаговременно, а нажимать «Ввод» - точно в момент пролета точки с известными координатами. Или, выяснив каким-либо образом отклонение от ЛЗП (по команде диспетчера или по GPS), можно ввести только координату Z. В общем, тут открывается простор для творчества. Можно, например, производить полет по линии, параллельной ЛЗП на заданном удалении, обходя грозу, введя предварительно соответствующую поправку по Z (например, 20 км), а потом, для возвращения на маршрут, - снова ввести ту же поправку, но с обратным знаком.

Ручной ввод плана полета в ЦВМ

Оказалось, что я так и не рассказал про ручной способ ввода плана полета, состоящего из ППМ, аэродромов и радиомаяков, в память ЦВМ. Производится он в режима «Подг.»

Для ввода координат ППМ: выбираем режим  , набираем кодовый номер, равный номеру ППМ (причем координаты аэродромов взлета и посадки вводить как ППМ не нужно!), затем жмем «Сброс I» и вводим географические координаты, как уже описывалось выше. Повторяем эту операцию для всех ППМ.

Для ввода аэродромов выбираем режим  , затем вводим координаты аналогично тому, как вводили ППМ, только кодовый номер теперь уже будет из диапазона 41-49 (последний – оперативный – аэродром можно ввести в любое время в полете, как и оперативные ППМ и радиомаяки). Однако для каждого аэродрома следует дополнительно ввести магнитный курс ВПП (вводится курс, меньший 180 градусов, хоть это и не принципиально, и если на аэродроме несколько полос с различными курсами, то их придется вводить как отдельные аэродромы каждую). Для этого нажмем  , сбрасываем верхний индикатор и вводим курс с точностью до десятков угловых секунд (если курс ВПП с такой точностью неизвестен, достаточно ввести с точностью до градуса, а в минуты и секунды записать нули). Не забывайте контролировать кодовый номер перед вводом, чтобы не перепутать, у каких аэродромов какие курсы ☺

Ну и аналогично вводятся радиомаяки. Координаты маяков вводятся в режиме  , частоты или номера каналов – в режиме  , сбрасывается при этом уже нижний индикатор, а номера и частоты вводятся в том же формате, что и отображаются (см. выше).

Еще одно замечание: иногда нужно на взлете иметь на ПНП магнитный курс, а не истинный, как в вышеприведенном примере полета. Для этого нужно, во-первых, в число введенных в память ЦВМ аэродромов включить аэродром взлета (вообще-то, это следует делать всегда на случай непредвиденного возвращения на аэродром взлета), во-вторых, ввести текущее магнитное склонение, в-третьих, перевести галетник «Аэродром» в положение, соответствующее номеру аэродрома взлета и нажать «Исполнение», и в-четвертых, переключить тумблер «Марш.-Аэр.» в положение «Аэродром». После взлета и выхода из зоны аэродрома следует задать аэродром посадки и перевести тумблер в положение «Маршрут».

На этом я заканчиваю рассказ о реализованных возможностях ЦВМ и приемах работы с ней и надеюсь, что мне удалось донести её, так сказать, философию, логику работы. Понимание этих принципов необходимо для уверенной и безошибочной работы с этой навигационной системой, которая, на мой взгляд, совмещает удобство эксплуатации, точность навигации и достаточное разнообразие возможностей.

Так что остается пожелать успешных полетов и мягких посадок ☺

Особенности новой динамики

В данной версии проекта сделана попытка приблизить к реальности динамику самолета, а конкретно его устойчивость и управляемость. Для этого был произведен анализ записи самописца самолета Ту-144 № 77102, потерпевшего катастрофу в Ле-Бурже в 1973 году. На этой записи отмечены скорость, высота, положение элеронов, перегрузка и угловая скорость вращения по тангажу, что позволяет оценить управляемость самолета в продольном канале. Оказалось, что в старой динамике самолет был передемпфирован и имел при этом слишком малый момент инерции, из-за чего управлять им было слишком легко: он охотно следовал за ручкой и легко сохранял заданный тангаж при отпуске штурвала.

На основе анализа этой записи и значений моментов инерции, имеющих в отчетах NASA об испытаниях Ту-144ЛЛ, была переделана динамика модели, что потребовало также некоторого

усложнения АБСУ: по аналогии с Ту-154 я реализовал в ней «систему улучшения управляемости», меняющую передаточное отношение от штурвала к элевонам в канале тангажа в зависимости от приборной скорости и центровки для сохранения более-менее постоянной управляемости (приращения перегрузки при отклонении штурвала) во всем диапазоне скоростей.

Также с новой динамикой стало почти невозможно управлять самолетом без демпфера в канале тангажа, в чем можно убедиться, отключив АБСУ совсем путем выключения всех четырех тумблеров «Тангаж» на пульте подключения каналов АБСУ (на левом пульте КВС). Особого внимания теперь требует взлет: после отрыва и выхода из зоны влияния экранного эффекта, создающего пикирующий момент, самолет хочет продолжать наращивать тангаж, что необходимо парировать небольшим отдаванием штурвала от себя. И полет на трансзвуковых скоростях придется выполнять в штурвальной режиме в канале тангажа, внимательно следя за тенденцией к пикированию при переходе через скорость звука.

Ну и по просьбам и в силу необходимости была сделана дополнительная панелька настройки коэффициентов автопилота. Она вызывается кликом по правому нижнему винтику на пульте автопилота (справа от ручки «Крен»). С помощью нее можно отрегулировать коэффициенты ПИД-регуляторов различных режимов АБСУ. Интерфейс панельки я считаю интуитивно понятным, а расписывать теорию ПИД-регуляторов здесь мне лень. Скажу лишь, что пропорциональный коэффициент влияет на резкость доворота на новую траекторию, дифференциальный – на интенсивность обратного действия, торможения при подходе к заданному значению параметра (высоты, тангажа, курса и т.п.), интегральный – скорость медленного уточнения выдерживания параметра. При раскачке в первую очередь нужно уменьшить пропорциональный коэффициент и увеличить дифференциальный, затем, если это не помогает – уменьшить и дифференциальный. При слишком резком управлении уменьшаются оба к-та, при слишком вялом – оба увеличиваются. Все изменения вступают в силу немедленно, кнопка сохранения сохраняет все коэффициенты в файл, чтобы изменения не пропали при выключении симулятора.