

Краткое описание отличий модели Ту-144Д версии 5.5 от версии 5.2

В связи с появлением у меня свободного времени и новой информации о Ту-144Д была продолжена работа над основными системами самолета, а также с его летными характеристиками.

Если Вы не знакомы с моделью Ту-144Д версии 5.0 и выше, то перед прочтением данного документа крайне рекомендую ознакомиться с описанием предыдущей версии:

Описание модели_v5beta.pdf

Вот основные изменения, произошедшие с момента крайнего обновления (версии 5.2):

1. Общие изменения

Основываясь на большом количестве материалов из книги «Туполев-144» (А.М. Затучный, В.Г. Ригмант, П.М. Синеокий) были скорректированы:

- величина реального крейсерского аэродинамического качества (теперь $K_{кр}$ около 7,2 вместо 8...8,3)

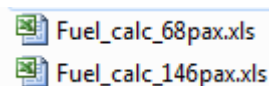
- емкость топливных баков и максимальный запас топлива при взлетной массе 207 т (масса топлива 106 тонн)

- удельный расход топлива двигателями (суммарный расход топлива на базовом маршруте Москва – Хабаровск составляет теперь около 96 тонн)

- высотно-скоростные характеристики двигателей (набор высоты теперь занимает до 1000 км расстояния и до 40 минут времени, крейсерский режим работы двигателей на $M=2.0$ теперь 72% по указателю РУД)

- добавлена новая модификация самолета с салоном на 68 человек (со снятыми рядами кресел и дополнительными перегородками), со сниженной массой пустого самолета. Только в такой конфигурации Ту-144Д мог бы выполнять пассажирские перевозки на максимальную дальность (Москва-Хабаровск), не превышая при этом взлетную массу в 207 т. Для более коротких рейсов можно использовать базовую модификацию с салоном на 147 пассажиров.

- обновлен калькулятор топлива, добавлена «Центровочная ведомость», позволяющая рассчитать потребное распределение пассажиров и груза между салонами и багажниками.



- изменен эксплуатационный диапазон центровок в зависимости от числа М (у Ту-144Д этот график отличался от первых машин с НК-144А). График «зашит» в индикатор центровки на панели бортинженера, а также есть в папке \Doc_Tu-144D.

- реализовано «гибкое крыло»: теперь консоли крыла не только прогибаются под воздушной нагрузкой и весом топлива (на земле), но и упруго колеблются после резких маневров (в том числе жесткой посадки). Прогиб крыла в полете – по данным вышеупомянутой книги.

По поводу расхода топлива: и в упомянутой книге, и в РЛЭ наблюдается сильная зависимость потребного на полет топлива от температуры атмосферы по трассе полета, точнее, ее отличия от стандартной (МСА). Вероятно, это связано с изменением тяги



двигателей в зависимости от температуры воздуха, в результате чего в теплое время года самолет дольше набирал высоту и скорость и расходовал при этом больше топлива. Это приводило к тому, что максимальная коммерческая нагрузка, которую Ту-144Д мог бы перевозить по трассе Москва – Хабаровск, менялась в течение года от 70 до 110 пассажиров.

В своей модели для МСФС я пока не реализовал эту зависимость характеристик двигателей от температуры, поэтому пока что нет возможности точно подогнать расходы топлива на рейс к реальным. Кроме того, у меня не было возможностей провести достаточное количество одинаковых испытательных полетов, чтобы собрать статистику и точно отрегулировать расход.

Поэтому в настоящее время фактическое количество топлива, израсходованного на полет, может не соответствовать рассчитанному в калькуляторе, а также данным по реальной эксплуатации. Прошу отнестись к этому с пониманием.

Для знакомства с данными, которыми я руководствовался, я выложил отсканированный фрагмент книги «Туполев-144», посвященный Ту-144Д, по этим ссылкам:

<https://yadi.sk/i/HnrlUc1V6Nguiw>

<https://yadi.sk/i/Rg0afB5ROIIifg>

<https://yadi.sk/i/gKGrCNyOyqqJOQ>

<https://yadi.sk/i/yEqbcdKbOHppw>

2. Изменения в навигационном комплексе

В связи с получением ограниченного доступа к РЛЭ Ту-144Д полностью переработана логика работы **навигационного комплекса (ЦВМ)**. Для освоения новой ЦВМ прошу изучить прилагаемый раздел РЛЭ, который я написал на основе реального документа, оставив только необходимое для эксплуатации навигационного комплекса в симуляторе. Все описание работы с ЦВМ полностью соответствует реальному, исключены лишь разделы про отказы и неисправности, а также иллюстрации (схемы и рисунки пультов).

Добавлен пульт ПА-144, на котором можно выбрать аэродром и схему взлета.

В ЦВМ в симуляторе включены некоторые недокументированные возможности, не имевшие место в реальности:

- ввод плана полета с «перфокарты» (см. описание версии 5.0b);
- ввод с помощью ИНО не только координат оперативных ППМ, а вообще любых координат (например, можно ввести оперативный РМ или аэродром)
- вывод по коду 93 текущего этапа полета по программному маршруту:
 - 0 – полет от аэродрома взлета до точки отворота (10 км по курсу ВПП)
 - 1 – полет от точки отворота к первому ППМ маршрута
 - 2 – полет от начального до конечного ППМ маршрута
 - 3 – полет от конечного ППМ к точке 4-го разворота
 - 4 – полет от 4-го разворота до аэродрома посадки
 - 5 – полет к выбранному ППМ по кратчайшему расстоянию



6 – полет к выбранному аэродрому (точке 4-го разворота) по кратчайшему расстоянию

7 – полет по оперативным ППМ.

- вывод по коду 94 номера ближайшего радиомаяка из числа запрограммированных (для облегчения проведения коррекции, т.к. теперь ЦВМ не выбирает радиомаяк сама, а требуется ручной ввод номера РМ коррекции, как описано в РЛЭ)

- вывод по коду 95 номера ближайшего ППМ (в целях отладки).

Полная таблица доступных кодовых номеров и информации, которая по ним выводится, доступна на кадре справки в ИНО-2.

Не реализован ввод и индикация точек взлетного маршрута (ТВМ) и точек посадочного маршрута (ТПМ), так как информации по ним в РЛЭ недостаточно, а имеющаяся противоречива.

По тем же причинам не реализован ввод координат точки отворота (ТО) и точки четвертого разворота для аэродромов. Вместо этого координаты этих точек вычисляются автоматически (как в реальности происходило для оперативных аэродромов). Точка отворота находится по курсу взлета на расстоянии (по умолчанию) 10 км от аэродрома взлета, а точка четвертого разворота – по курсу посадки в 25 км позади аэродрома посадки. Эти расстояния можно изменить, отредактировав файл настроек АБСУ *ABSU.dat*.

Номер начально и конечного ППМ теперь не вводятся вручную, а вычисляются ЦВМ автоматически по номеру аэродромов взлета и посадки, как ближайшие к ним ППМ из числа запрограммированных.

Для коррекции во ВОР-ДМЕ теперь нужно устанавливать на ЗМС магнитное склонение радиомаяка ВОР, для чего добавлена всплывающая подсказка на предохранителе пульта курсов.

Работает режим «прогона маршрута», а также реализована «справка» на пульте ПМ-144 (так, как описано в РЛЭ).

К сожалению, в РЛЭ не описан порядок ввода в ЦВМ программы полета, поэтому тут все осталось по-старому: в режиме «Подготовка» доступен ввод координат всех ППМ, аэродромов и радиомаяков. Не забудьте ввести для аэродромов магнитный курс ВПП! Теперь для каждого аэродрома можно задать курсы двух разных ВПП (как описано в РЛЭ).

Также в РЛЭ обойден стороной вопрос о выборе курса посадки (по аналогии с курсом взлета, зависящем от выбранной схемы взлета). Поэтому я задействовал для этого тумблер «Курс пос. прям.-обр.» на потолочной панели (рядом с задатчиком курса ВПП). Будьте внимательны, от выбранного курса ВПП зависит расположение точек отворота и точек 4-го разворота, вычисляемые ЦВМ!

Также ЦВМ теперь сама включает СТУ («Подгот. посадки») и режим КУРС в момент начала 4-го разворота (в соответствии с РЛЭ).

3. Изменения в АБСУ

Обновлена логика АБСУ (включает в себя САУ, СТУ и СУУ), см. соответствующий прилагающийся раздел РЛЭ. В отличие от реального Ту-144Д, в модели можно использовать маршрутный режим АБСУ (полет по сигналам ЦВМ с выдерживанием запрограммированного маршрута и числа М). В реальности полеты происходили либо в штурвальный режим, либо в режиме стабилизации текущего тангажа и курса. Также режимом стабилизации высоты и скорости можно пользоваться во всем диапазоне высот и скоростей, а не только в том, который ограничен в РЛЭ. У автомата тяги работает (в отличие от реального) режим М/Тг – стабилизация числа М/температуры торможения.

Маршрутный режим в канале тангажа включается, начиная с высоты 15000 м и числа М 1,95 (согласно РЛЭ). По идее, в этом режиме самолет должен выдерживать число М крейсерское, зависящее от температуры наружного воздуха, но оказалось, что график этой зависимости представляет собой горизонтальную прямую, т.е. при любой температуре выдерживается просто число $M = 2,0$. При этом установите крейсерский режим работы двигателей 72% по указателям положения РУД.

Реализован режим автоматического и директорного ухода на второй круг.

Логика включения режимов на штурвальном пульте приведена в соответствие с РЛЭ.

Вообще, существуют некоторые противоречия между источниками информации по поводу реализованных и разрешенных к использованию в реальных полетах Ту-144Д режимах АБСУ.

Согласно книге «Туполев-144», АБСУ обеспечивала только следующие режимы:

- штурвальное управление;
- стабилизацию высоты и углов на крейсерских режимах полета (каких именно углов – не уточняется – прим. мое);
- директорный заход на посадку до высоты 100 м;
- стабилизация и управление скоростью через автомат тяги на этапе захода на посадку.

Также сказано, что навигационный комплекс НК-144 задействован в режиме индикации навигационных параметров без связи с АБСУ и решения топливно-временных задач.

В то же время, согласно РЛЭ Ту-144Д, АБСУ также может использоваться в следующих режимах:

- стабилизация заданного путевого угла (ЗПУ)
- автоматический заход на посадку до высоты 30 м;
- автоматический уход на второй круг.

Также в РЛЭ описаны режимы полета по маршруту по сигналам ЦВМ в каналах крена и тангажа (выдерживание ЛЗП и заданного крейсерского числа Маха), но про их использование в описании нормальной эксплуатации ничего не сказано. Кроме того, режим стабилизации высоты полета может применяться (по РЛЭ) только в дозвуковом полете с $M < 0,85$.

Из всего этого следует, что в реальных полетах Ту-144 в крейсерском сверхзвуковом режиме самолетом управляли либо в штурвальном режиме (как в полетах Ту-144ЛЛ),

либо в режиме БОК и ПРОД (стабилизации крена и тангажа), крутя весь полет ручку «Крен» и колесики задания тангажа.

Несмотря на это, в своей модели Ту-144Д для симулятора я постарался реализовать все упомянутые в документации режимы автоматического управления. Использовать их в полете или нет – решать вам, в зависимости от собственного подхода к степени реализма виртуальных полетов. Лично мне нравится гонять всю автоматику «по полной программе», т.к. приятно смотреть, как работают собственноручно написанные системы). В порядке эксперимента я даже пробовал не отключать режим автоматического захода до самого касания, и самолет прекрасно совершал автоматическую посадку с небольшой перегрузкой при касании (благодаря экранному эффекту), оставалось лишь вручную убрать режим двигателям и произвести торможение.

Хочу также обратить внимание, что в модели полностью реализована работа реальной СУУ (системы устойчивости-управляемости) Ту-144. Интересно, что в ней применен другой подход, нежели на привычном для симмеров Ту-154, где в зависимости от скорости полета АБСУ меняет передаточное отношение от колонки штурвала к отклонению руля высоты, «загрубая» управление на больших скоростях, и стремясь таким образом сохранить одинаковое приращение перегрузки по отклонению штурвала.

На Ту-144 нет такого механизма, и соотношение отклонения штурвала и элевонов постоянно на всех скоростях и режимах полета. Однако, из-за явлений аэроупругости и специфики сверхзвукового обтекания, с ростом числа М полета эффективность элевонов снижается настолько, что то самое приращение перегрузки по отклонению штурвала остается в приемлемом для пилота диапазоне.

Зачем же тогда нужна СУУ и чем она занимается?

Во-первых, СУУ включает в себя демпферы в каналах тангажа и крена, отклоняющие элевоны в сторону, противоположную угловой скорости вращения самолета и уменьшающие таким образом амплитуду и продолжительность колебаний самолета по этим осям, улучшая таким образом устойчивость. Это необходимо, так как запас продольной статической устойчивости сверхзвукового самолета намного меньше, чем у традиционных дозвуковых пассажирских самолетов. Ту-144 в полете близок к нейтральной устойчивости, особенно на дозвуковых режимах полета, и поэтому склонен к продольной раскачке, что и парируется постоянно включенными демпферами.

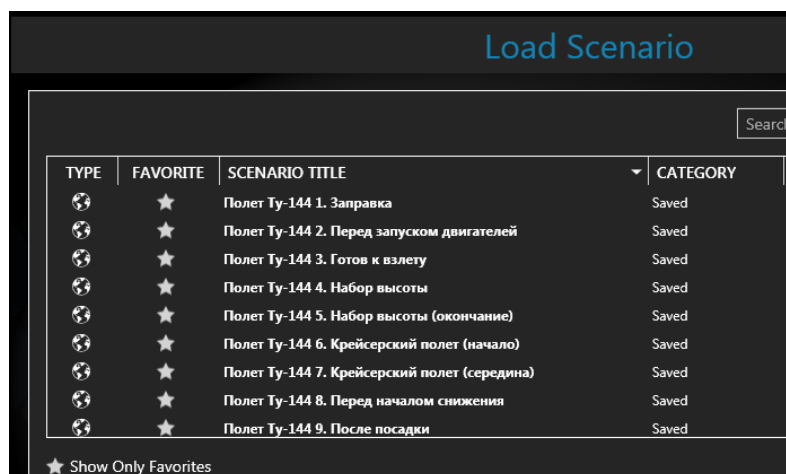
Кроме этого, СУУ включает в себя перекрестную связь «из крена в курс», благодаря которой облегчается выполнение скоординированных разворотов и улучшается управляемость в боковом канале. На некоторых режимах полета (когда загорается табло «Хэ включен») при отклонении штурвала по крену также автоматически отклоняется руль направления, помогая самолету войти в разворот. Этот режим включается на тех режимах полета, на которых критически уменьшается запас курсовой устойчивости: на больших углах атаки (взлете-посадке) и в диапазоне чисел М 0,9...1,6.



Также в канале курса в СУУ работает постоянно подключенный демпфер рыскания (чувствительный к угловому ускорению) и сигнал, пропорциональный углу скольжения (только при выпущенном шасси или ПК, а также при $M > 1.6$).

Такая структура и принципы работы СУУ независимо подтверждаются РЛЭ и отчетом NASA/TM-2000-209850.

Для облегчения знакомства с порядком выполнения полетов на Ту-144Д новой версии я воспользовался системой сохранения-загрузки полета и сделал несколько сохранений на разных этапах полета, которые Вы можете найти в папке *\Prepar3D v4 Files*. Их нужно перенести в одноименную папку в «Моих документах» Вашего ПК, после чего можно будет загружать эти сохранения в симе.



4. Недоделки и планы на будущее

Во-первых, хочу предупредить, что не все вышеперечисленные изменения в должной мере реализованы в виртуальной кабине, поэтому некоторые кнопки и приборы в ней могут работать не совсем правильно (не совпадать с 2Д-панелью). Это будет правиться по мере сил в дальнейшем.

Также планирую перейти от пилотажно-навигационных систем к инженерным и заняться (в который раз!) переделкой топливной системы в соответствии с новой полученной информацией из РЛЭ и книги.

Появилась некоторая информация по летным характеристикам, займусь динамикой в части устойчивости-управляемости.

Возможно, дойдут руки до верхней панели бортинженера: противопожарной системы, управлением коробкой самолетных агрегатов (КСА).

Дальше пока не заглядываю. Жду новостей про MSFS2020... Надеюсь, что Ту-144 можно будет перенести и в него так же, как удалось мигрировать с FSX на P3D.