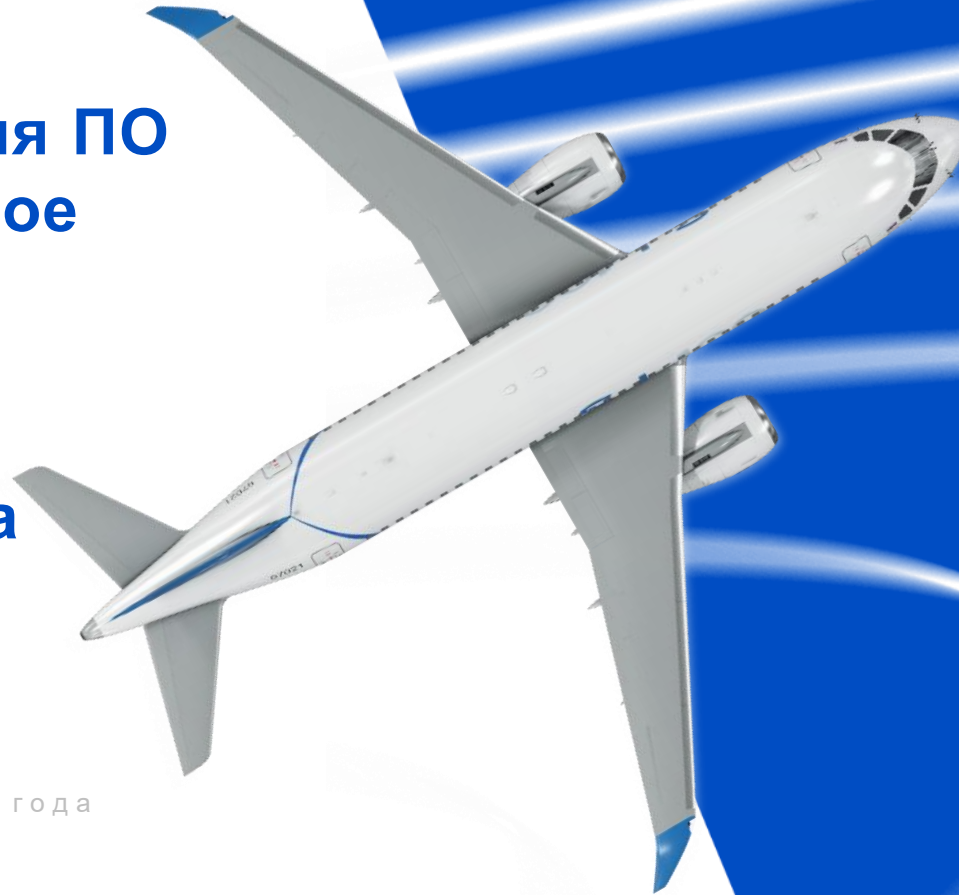


Внедрение и сертификация ПО E-AFM «Электронное Летное руководство» в качестве компьютеризированного Раздела «Летные характеристики» самолета RRJ-95

А.В. Долотовский, М.С. Войтишина,
С.А. Алексеев, И.В. Воронич

26.05.2025 г., Для конкурса Авиастроитель года



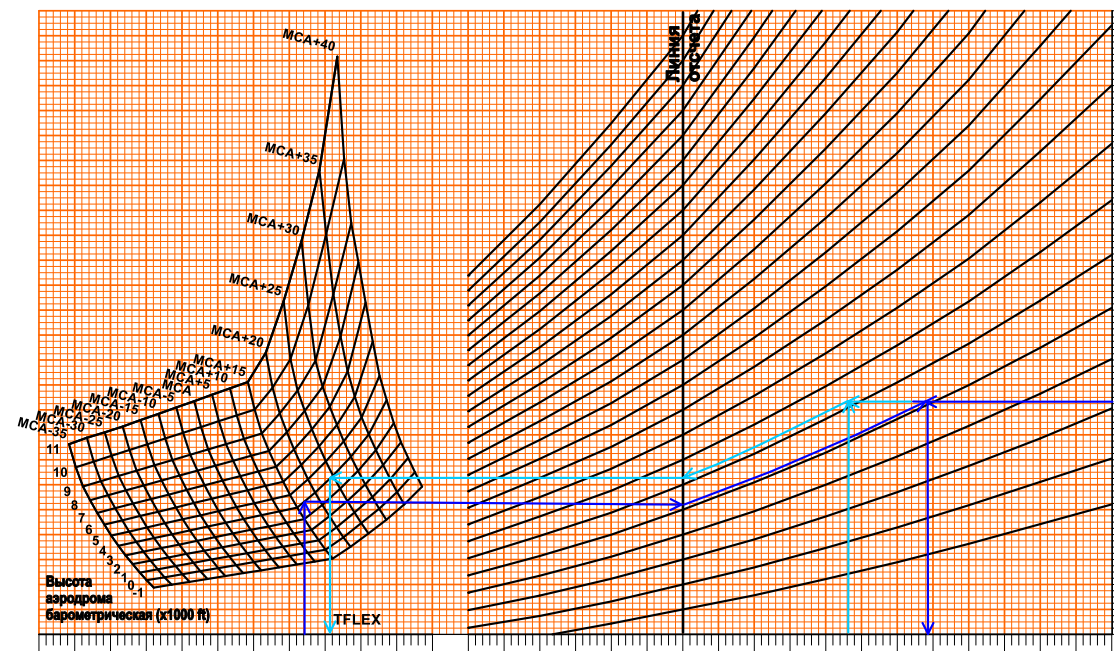
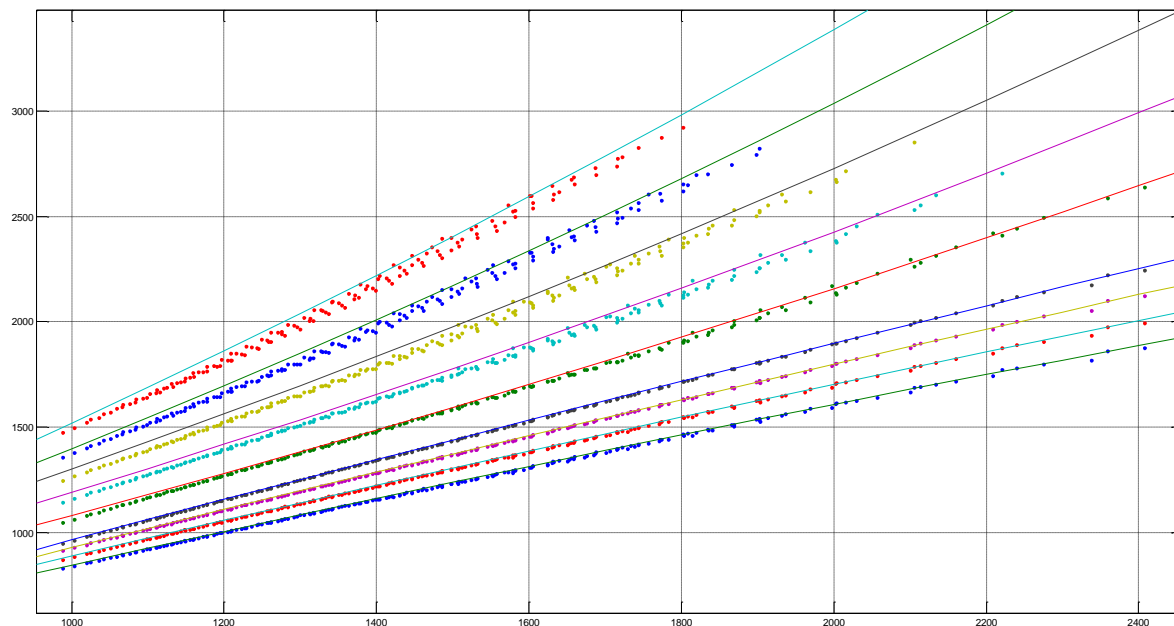


- Одной из ключевых задач является объединение программного обеспечения, применяемого для расчетов взлетно-посадочных характеристик (ВПХ), на этапе проектирования, разработки, сертификации и программного обеспечения, применяемого авиакомпаниями в процессе эксплуатации. Такая задача в отечественной авиационной практике была решена впервые.
- 2013 г. выпущена и зарегистрирована первая версия программного комплекса RWAnalysis95 для расчета ВПХ самолета RRJ-95B
- 2016 г. создан отдельный расчетный модуль Electronic Airplane Flight Manual (E-AFM, «Электронное Летное руководство»), предназначенный для использования в качестве компьютеризированного раздела «Летные характеристики» Летного руководства (ЛР)
- Модуль E-AFM предназначен для расчета ВПХ в рамках сертифицированных эксплуатационных ограничений ЛР и организован в виде библиотеки, которая может быть прямо использована системными средствами или интегрирована в ПО с графическим интерфейсом пользователя. Для целей внешней интеграции модуль обеспечивает поддержку стандарта обмена данными SCAP
- Внедрение ПО E-AFM позволяет повысить точность определения характеристик ВС по отношению к характеристикам представляемым в виде номограмм

Ограничения бумажного ЛР: неточность



Графические материалы для определения ВПХ строятся методом номограммирования, при котором итоговые графики строятся по огибающим массива результатов расчетов ВПХ во всей ОУЕ. Огибающие содержат в себе существенный запас для компенсации неточности, что ухудшает расчетные характеристики самолета по сравнению с фактическими.



Внедрение ПО «Электронное ЛР» позволяет исключить данную особенность и повысить точность определения ограничений взлетного и посадочного веса. Поскольку ВПХ самолета меняются, это изменение типовой конструкции классифицируется как главное.

Ограничения бумажного ЛР: трудоемкость



ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ВЗЛЕТНОЙ МАССЫ



ПРИМЕЧАНИЕ:

Проверить, что $V_1 \geq V_1$ ограниченной V_{MCG} .

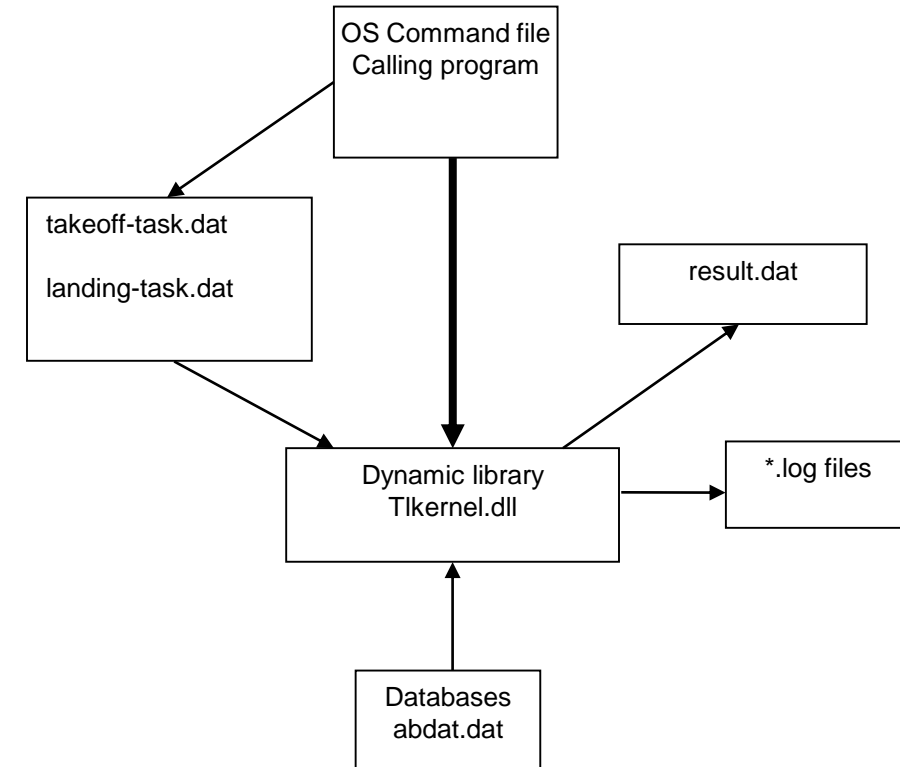
Если $V_1 < V_1$ ограниченной V_{MCG} , увеличить отношение V_1/V_R до $V_1 = V_1$ ограниченной V_{MCG} на номограмме "Определение приведенной взлетной дистанции и V_1/V_R ".

Для определения максимального взлетного веса в условиях конкретного аэродрома необходимо снять исходные данные с **семи** графиков.

Описание ПО E-AFM



- Модуль E-AFM предназначен для расчета ВПХ сертифицированного ВС и расчета ВПХ необходимых для проектирования и сертификации ВС. Данный подход позволяет обеспечить методические процессы создания новых модификаций самолетов и процессы сертификации этих моделей.
- Модуль E-AFM организован в виде библиотеки, пригодной как для прямого использования средствами ОС, так и для интеграции в ПО с графическим интерфейсом пользователя.
- E-AFM разработан на языках программирования:
FORTRAN77 (ISO 1539-1980) — алгоритмическая часть
C++ (ISO/IEC 14882:2017) — ввод/вывод.
- Исходный код сконфигурирован и скомпилирован с помощью компилятора MinGW-w64, с использованием сценария автоматической сборки на языке Python v3. Контроль изменений исходного кода осуществляется с помощью ПО контроля версий Git.
- Необходимым свойством цифровой модели, как конечного продукта, является возможность включения новых модификаций самолетов за счет использования параметрического компонента данных (заменяемой базы характеристик, полностью описывающих модификацию самолета).



Использование E-AFM в составе ПО RWA и TLT с 2017 г



Takeoff & Landing Tool (TLT) – ПО класса EFB. Планшетная версия ПО RWAnalysis95, позволяющая использовать ее в составе комплекта ПО электронного полетного планшета (Electronic Flight Bag, EFB).

Takeoff Computation Results

<> ULLI, '10L', 3397/3397/3397M, 0.04%, DRY, 8 OBS, 101

T/O FLAPS

Flaps 1+F Flaps 2 Flaps 3

EXP. TOW, MT / LIM CODE

45.80 / 45.80 / 45.64 / C

V1VRV2, KT

154/154/158 137/137/142 - / - / -

MAH, FT

1001 1001 -

T/O STAB, DEG

-4.5 -5.3 -5.8

TOW, MT T/O AIRBLEED

45.8 Air Cond

Return

Landing Dispatch Computation Results

R COND <> UUEE, '06C', 3552M, 0.02%, SF=1.67, GRAD

ESTIMATED LW (EXPECTED LW), MT

41.00

RLD / LDA, M

2034 / 3552

VREF + AF, KT

140

LND FLAPS

Full

APPROACH

Auto / Man

Return

RWAnalysis95 - 6.10.0LE-Market - RRJ-95B

Load Airport: UUEE Takeoff RRJ-95B Minimum Acceleration Height: 305.0

Save Airport: VO MOSCOW Landing

Clear All

Takeoff Thrust: TO/GA Flaps: 1+F Auto-Braking: Max, Low, Med, None

Flexible 2 Full

Runway: 06C TORA: 3552.0 ASDA: 3552.0 TODA: 3952.0 LDA: 3552.0 Slope: 0.02% PCN: --- Line Up: 23.0 Safety Factor: 1.67 MACG: 2.1%

Copy RW Delete RW

Obstacles Meters Turns

Runway Conditions: Dry, Wet, Water, Dry Snow, Wet Snow, Slush

Normative Friction Coefficient: 0.3

Braking Action: Good, Med/Good, Med, Med/Poor, Poor, Unreliable

Press Alt / Pressure (hPa): Elevation: 192.0 Press Alt: 192.0

Temperature (C): From, Until, Step

Wind (m/s): From, Until, Step

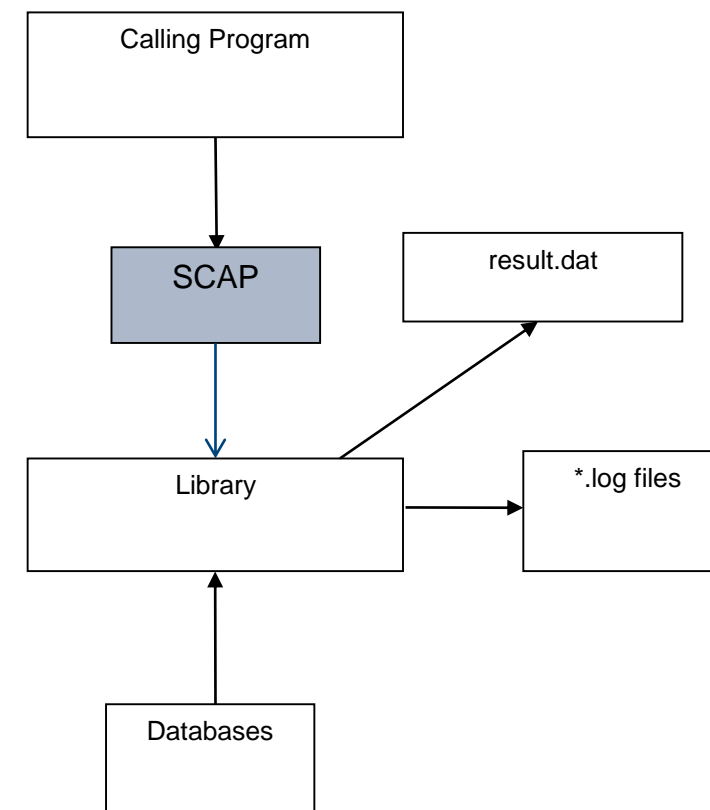
Takeoff Computation Takeoff Results

- Runway Analysis (RWA) предназначено для планирования полетов службами авиакомпаний. Позволяет оперативно выполнять расчеты ВПХ для условий маршрутной сети аэропортов и обеспечивать пилотов таблицами характеристик в наглядном виде (Runway Charts), в рамках технологии безбумажной документации (Paperless Cabin)
- В 2023 г. RWAnalysis95 внесено в реестр российского ПО Минцифры

Использование E-AFM в составе стороннего ПО



SCAP (Standard Computerized Airplane Performance) – утвержденный IATA стандарт на интерфейс обмена данными, позволяющий интегрировать стороннюю вызывающую программу и модуль расчета ВПХ, который разработан производителем самолета.



Интеграция E-AFM в Boeing OPT была представлена в 2021 г. на авиасалоне МАКС-2021



ПО «Автоматизированный расчет параметров взлета и посадки»:

- выполняет расчет максимально допустимого взлетного веса самолета, взлетных скоростей и высоты безопасного разгона в условиях аэропорта вылета;
- выполняет расчет температуры T_{FLEX} , взлетных скоростей и высоты безопасного разгона для взлета с применением процедуры понижения взлетной тяги при заданном взлетном весе в условиях аэропорта вылета;
- выполняет расчет максимально допустимого посадочного веса и посадочной скорости с поправкой на конфигурацию в условиях аэропорта посадки (запасного);
- позволяет создать базу характеристик аэропорта прямым вводом данных с сохранением их в собственном формате;
- выводит в различных форматах результаты расчета (RWY Charts), сохраняя их комплектами файлов различного назначения для каждой ВПП;

The screenshot displays the RWAnalysis95 software interface for takeoff and landing calculations. The window title is 'RWAnalysis95 - 6.10.0LE-Market - RRI-95B'. The interface is divided into several sections:

- Top Section:** Includes 'Load Airport' (UUEE), 'Save Airport' (VO MOSCOW), and 'Clear All' buttons. The 'Takeoff' tab is active, showing 'RRJ-95B' aircraft, 'Takeoff Thrust' (TO/GA selected), 'Flaps' (1+F selected), and 'Auto-Braking' (None selected). 'Minimum Acceleration Height' is set to 305.0.
- Runway Section:** 'Copy RW' (06C) is selected. Fields for TORA (3552.0), ASDA (3552.0), TODA (3952.0), LDA (3552.0), Slope (0.02%), PCN (---), Line Up (23.0), Safety Factor (1.67), and MACG (2.1%) are visible.
- Obstacles Section:** Includes 'Obstacles' and 'Turns' tabs. 'Runway Conditions' are set to Dry. 'Normative Friction Coefficient' is 0.3. 'Braking Action' is Good. 'Press Alt / Pressure (hPa)' is 192.0. 'Temperature (C)' and 'Wind (m/s)' are both 0.
- Bottom Section:** 'Takeoff Computation' and 'Takeoff Results' buttons.

- Графический интерфейс пользователя оптимизирован для настольных, переносных и планшетных компьютеров.
- Функционал расчетов взлета и посадки расположен в одном окне.
- ПО позволяет более точно определять загрузку самолета и повысить коммерческую эффективность рейсов.

RWAnalysis95 – выходные формы



- Выходные формы – отчеты, которые содержат полную информацию об условиях расчета
- Результаты даются в виде таблиц по температуре OAT (либо взлетному весу) и скорости ветра
- Результаты содержат (слева от “ / ”) максимально допустимый в данных условиях взлетный/посадочный вес (или T_{FLEX}) и код его ограничения
- Результаты содержат (справа от “ / ”) характеристические скорости
- Для расчета взлета после основной таблицы приводится таблица поправок на отклонение давления и на отборы
- В нижней части отчета приводится справочная информация о высоте уборки механизации, минимальных скоростях, поправках к весу в расчете на узел, кодах ограничений и др.

```
Takeoff: C:/RWA/RWA6-RRJ-95XX/Data/Takeoff/RRJ95B_UUEE_24R_17 Nov 2023_Flap2_AirCond_DRY_14-19-54/RRJ95B_UUEE_24R_17 Nov 2023_Flap2_AirCond_DRY_14-19-54.txt

Font Default Font Print Close

UUEE SHEREMETYEVO MOSCOW UUEE
24R TORA 3200.0M ASDA 3200.0M TODA 3350.0M Slope 0.10% Line Up 23.0M
Elevation 192.0M Pressure Altitude 192.0M ISA Temp 13.8°C PCN No PCN
RRJ-95B 17 Nov 2023 DRY MTOW 45880KG
Flaps 2 APU OFF
Air condition ON Engine Anti-Icing OFF Wing Anti-Icing OFF

OAT(°C) WIND= -5 M/S WIND= 0 M/S WIND= 5 M/S WIND= 10 M/S
0 45.65#/137/137/142 45.88 /137/137/143 45.88 /137/137/143 45.88 /137/137/143
10 45.46#/136/136/142 45.88 /137/137/143 45.88 /137/137/143 45.88 /137/137/143
20 45.24#/136/136/142 45.88 /137/137/143 45.88 /137/137/143 45.88 /137/137/143
30 44.55#/135/135/141 45.88 /137/137/143 45.88 /137/137/143 45.88 /137/137/143
40 40.82#/129/129/135 42.35#/132/132/137 42.55C/132/132/137 42.55C/132/132/137

----- INFLUENCE OF QNH -----
C/S/-20hPa T > 29 ---/---/--- ---/---/--- -0.92C/-2/-2/-2 -0.92C/-2/-2/-2
C/S/+20hPa T > 29 ---/---/--- ---/---/--- 0.92C/1/1/2 0.92C/1/1/2
# /-20hPa T<= 29 -0.59#/-1/-1/-1 ---/---/--- ---/---/--- ---/---/---
# /+20hPa T<= 29 0.58#/1/1/1 ---/---/--- ---/---/--- ---/---/---
# /-20hPa T > 29 -0.88#/-1/-1/-2 -0.91#/-1/-1/-1 ---/---/--- ---/---/---
# /+20hPa T > 29 0.87#/2/2/1 0.92#/1/1/2 ---/---/--- ---/---/---

Min.acceleration height 305 M Min.acceleration QNH altitude 497.0M
Min V1/VR/V2-> 106 / 125 / 129KT. Correction VR/V2 = 1.5 kt / 1000 kg, check V1/VR
Obstacles( M): 4.5/382/0 24.5/896/0 26/1086.5/0
27/2097.5/0 31/2130/0 32/2377.5/0 33/2480/0
35/2517.5/0 144/8134/0
RW Head=0. Turns( M,M/S): (empty)
When TMAX < TREF only TOGA thrust take-off permitted
HEADWIND IS '+', TAILWIND IS '-'
LIMIT CODE IS: F=FIELD, #=OBSTACLE
C=CLIMB GRADIENT 1ST SEGMENT, S=CLIMB GRADIENT 2ND SEGMENT
P=PAVEMENT CLASSIFICATION NUMBER
L=AFM LIMIT
OBSTACLE: HEIGHT/DISTANCE/LAT.OFFSET
TURN: DISTANCE/VELOCITY/BANK ANGLE/NEW HEAD/RADIUS

.....
```

```
Landing: C:/RWA/RWA6-RRJ-95XX/Data/Landing/RRJ95B_UUEE_24R_17 Nov 2023_Flap3_AirCond_WET_14-37-23/RRJ95B_UUEE_24R_17 Nov 2023_Flap3_AirCond_WET_14-37-23.txt

Font Default Font Print Close

UUEE SHEREMETYEVO MOSCOW UUEE
24R LDA 3200.0M Slope 0.10% G/A Gradient 2.50% AutoLand ON
Elevation 192.0M Pressure Altitude 192.0M ISA Temp 13.8°C PCN No PCN
RRJ-95B 17 Nov 2023 WET AutoBrake MED MLW 41000KG
Flaps 3 APU OFF
Air condition ON Engine Anti-Icing OFF Wing Anti-Icing OFF

OAT(°C) WIND= -5 M/S WIND= 0 M/S WIND= 5 M/S WIND= 10 M/S
0 30.17F/124+4 39.92F/142+4 41.00 /144+4 41.00 /144+4
10 29.05F/121+4 38.45F/140+4 40.95F/144+4 41.00 /144+4
20 28.01F/119+4 37.07F/137+4 39.48F/142+4 41.00 /144+4
30 ---F/0+5 35.79F/135+4 38.12F/139+4 40.52F/143+4
40 ---F/0+5 34.61F/133+4 36.86F/137+4 39.19F/141+4

Min Vref-> 123KT. Correction VREF = 1.8 KT / 1000 kg Safety Factor 1.67

HEADWIND IS '+', TAILWIND IS '-'
LIMIT CODE IS: F=FIELD,
G=MISSED APPROACH CLIMB GRADIENT,
P=PAVEMENT CLASSIFICATION NUMBER,
L=AFM LIMIT

V6.10.0LE-Market / 1.3.8
```



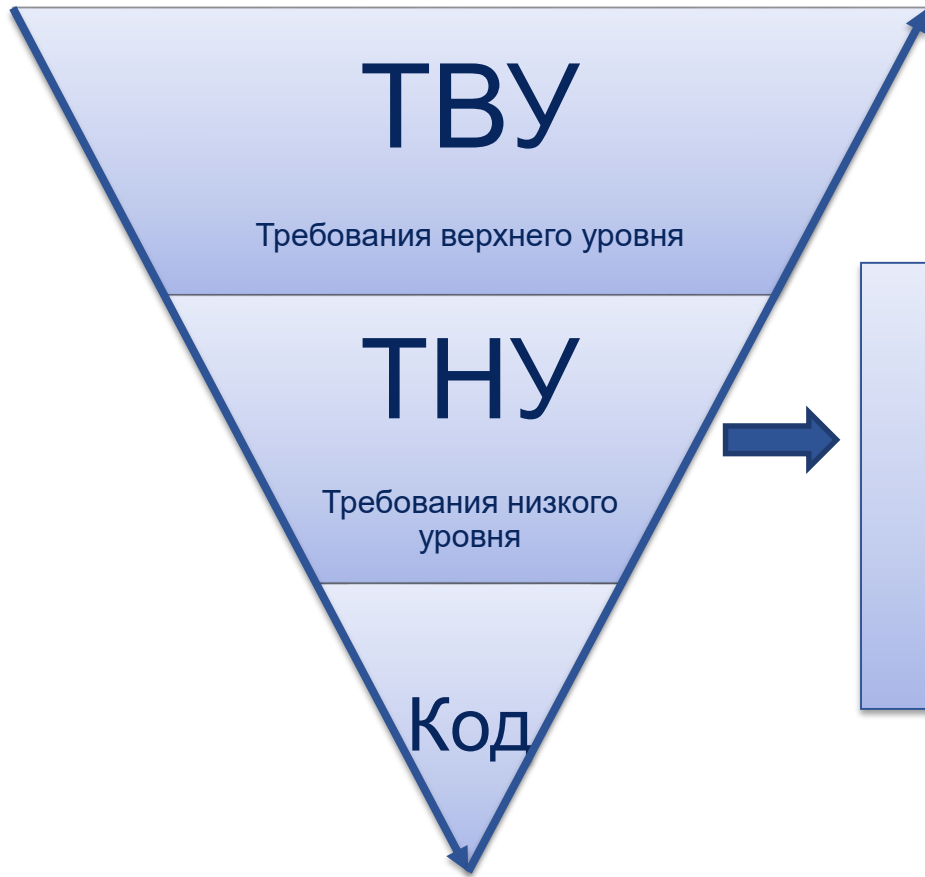
- В ходе сертификации показано, что:
 - Летные характеристики самолета, вычисленные при помощи ПО «Электронное ЛР», соответствуют полученным в процессе сертификации самолета RRJ-95B во всем объеме выдаваемых характеристик во всем диапазоне ОУЭ
 - ПО «Электронное ЛР» функционирует в соответствии со своим назначением
- Установлено соответствие требованиям следующих пунктов Сертификационного Базиса:
 - 25.1581(a)(2)
 - 25.1587 (b)(1)(3)
 - 25.1583 (c)(2)

Соответствие установлено на базе методики EASA AMC 25.1581 Annex 1

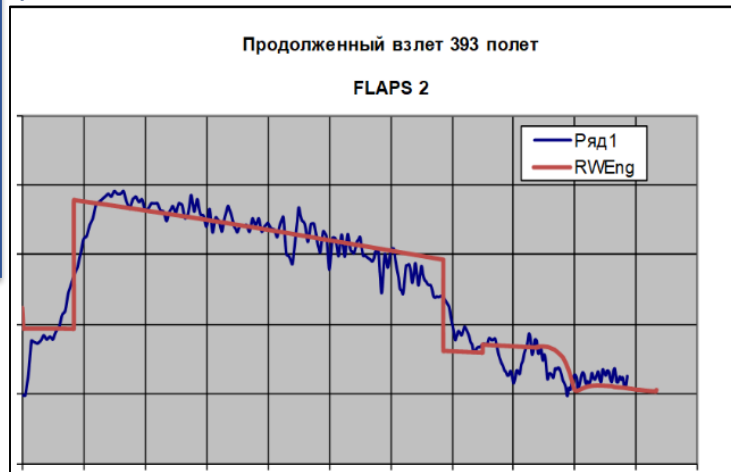
МОС включает в себя:

- Требования к содержанию бумажной и электронной частей Руководств, в частности, «Электронная версия ЛР может быть использована для создания любой утвержденной АВ информации о летных характеристиках, которая должна быть представлена в ЛР»
- Требования к использованию в эксплуатации, в частности, электронная версия ЛР не предназначена для использования на борту самолета. Следовательно, любые части ЛР, которые представлены только в электронном виде, не могут удовлетворять этим требованиям эксплуатации. При этом не запрещается распечатывать информацию, вычисленную с помощью утвержденной АВ электронной версии ЛР, и использовать ее в виде распечаток на борту самолета

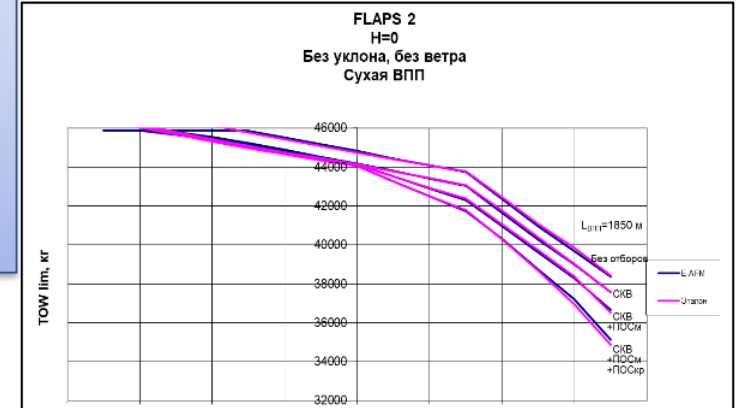
Особенности сертификации ПО: уровни требований



Проверка на соответствие ТНУ –
сравнение с ЛИ



Проверка на соответствие ТВУ –
сравнение с ИД для бумажного ЛР



Проведена верификация ПО E-AFM по отношению к требованиям:

- Верхнего уровня – путем сравнения максимальных взлетного и посадочного весов, взлетных и посадочных скоростей с эталонным ПО в различных условиях.
- Низкого уровня – путем сравнения результатов расчетов отдельных взлетно-посадочных характеристик с результатами летных испытаний.



SOI1

- План сертификации ПО
- План разработки ПО
- План верификации ПО
- План управления конфигурацией ПО
- План гарантии качества ПО
- Стандарт на кодирование ПО
- Стандарт на разработку требований к ПО
- Стандарт на проектирование ПО
- Требования к ПО

SOI2

- Отчет замечания SOI-2
- Описание проекта ПО
- Исходный код ПО E-AFM
- Требования к ПО
- Обобщенные требования к алгоритмам ПО EAFM

SOI3

- Программа тестирования E-AFM
- Программа дополнительного тестирования E-AFM
- Обобщенные требования к алгоритмам ПО EAFM
- Требования к ПО
- Manual E-AFM
- АСА-ВПХ=описание
- Отчет о верификации EAFM
- Описание ИД для модели расчета EAFM
- Указатель конфигурации ПО E-AFM
- Указатель конфигурации среды ЖЦ ПО E-AFM
- Описание проекта ПО
- Отчет о дополнительном тестировании E-AFM
- Итоговое заключение о ПО
- Отчет по замечаниям SOI3

- В целях подтверждения соответствия ПО E-AFM сертификационным нормам, в процессе сертификации было выпущено около 30ти доказательных документов.
- Обоснование включало в себя как проверку соответствия результатов расчетов ПО результатам ЛИ, так и проверку соответствия процессов разработки ПО КТ-178.

Заключение

- В 2024 г. получено одобрение Главного изменения типовой конструкции самолета RRJ-95 «Внедрение компьютеризированного раздела «Летные характеристики» в Летное руководство»
- RRJ-95 на сегодняшний день первый и единственный отечественный самолет транспортной категории с одобренным авиационными властями компьютеризированным разделом ЛР
- Внедрение электронного ЛР позволило повысить точность и снизить трудоемкость определения допустимых ограничений взлетного и посадочного веса по сравнению с использованием номограмм ЛР.





СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!