

Рис. 3. Динамическая модель ротора ВД

По результатам расчётов сделаны выводы о влиянии ослабления фланцевых соединений на критические частоты вращения ротора высокого давления двигателя АЛ41Ф-1С.

УДК 629.7.067

## РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ FRACAS НА ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «НАДЁЖНОСТЬ»

©2016 Н.Г. Логинова, С.В. Сарычев

Научно-производственное объединение «Сатурн», г. Рыбинск

### GTE LIFE-CYCLE FRACAS IMPLEMENTATION. BUNDLED SOFTWARE «DEPENTABILITY»

Loginova N., Sarychev S. (PJSC "NPO "Saturn", Rybinsk, Russian Federation)

*This publication presents GTE life-cycle FRACAS and bundled software for assessment and monitoring reliability and safety on development and serial production of aviation gas-turbine engines, developed in "NPO "Saturn" on requirement of Management System Safety (MSS).*

Основным элементом Системы управления безопасностью полётов (СУБП) является подсистема сопровождения по надёжности парка газотурбинных двигателей (ГТД) или реализация задачи поиска причин неисправностей и принятия корректирующих действий, или FRACAS (Failure Reporting analysis and corrective action). Задача FRACAS является элементом обратной связи в составе СУБП и отвечает за мониторинг эффективности внедрённых (внедряемых) мероприятий на всём жизненном цикле ГТД.

Исторически методическое и информационное обеспечение системы управления баз данных (БД) FRACAS СУБП закладывалось в СССР и далее в РФ на основании требований создания сети информационно – вычислительных комплексов на базе серийных предприятий в соответствии с Решением коллегии Министерства авиационной про-

мышленности (МАП) от 08.06.1989, приказов министра МАП № 114 от 09.03.1988, № 24 от 18.10.1989, № 358 от 06.07.1989. Обновление и дополнение новыми элементами FRACAS СУБП выполнялось с учётом совершенствования способов разработки, испытания и контроля эксплуатации авиационной техники и внедрением системы менеджмента техническими рисками.

В ПАО НПО «Сатурн» задачи FRACAS процесса серийной доводки достаточно долго превалировали в процессе сопровождения надёжности. В этих условиях изначально была разработана и введена в эксплуатацию БД «Надёжность серийных авиационных ГТД» [1]. В БД содержится структурированный массив информации по всем критическим и основным видам отказов с начала эксплуатации и по всем отказам с 1990 года двигателей серии Д-30КУ/КП/КУ-

154. В дальнейшем основная БД была дополнена разделом, содержащим мониторинг исполнения мероприятий по каждому случаю инцидента в эксплуатации, что позволило обеспечить с одной стороны выпуск всего спектра отчётной докумен-тации по надёжности, принятой в авиа-ционной промышленности, с другой – обеспечить оценку эффективности конструкторско – технологической доработки в серийной эксплуатации. После внедрения Норм безотказности для двигателей ГА России в 2007 году выполнена разработка модуля оценки нормируемых показателей безотказности [2], что позволило ввести мониторинг значений показателей БП и безотказности в реальном режиме времени по факту регистрации вновь поступающей информации и решать задачи интерполяции и экстраполяции основных и нормируемых показателей надёжности, а также выполнять вейбулловы, байесовские и вейбаесовские оценки, и регрессионный анализ динамики видов отказов (неисправностей), оказываю-щих превалирующее воздействие на эксплуа-тацию, с использованием встроенного модуля прикладного программного обеспечения и внешних статистических пакетов программ, например [3,4].

С 2009 года была введена в эксплуатацию БД «Учёт и анализ инцидентов, выявленных в процессе сертификационных испытаний авиационных газотурбинных двигателей» [5]. Данная БД разработана для сопровождения по надёжности поузловых, полно-размерных и лётных сертификационных испытаний двигателя проекта SAM146. Информация по инциденту включает структурированный группой классификаторов БД набор данных от внешнего проявления до его причины и перечня конструктивно-технологических мероприятий. В форме БД «Инцидент» реализована система привязки ссылочных документов. С помощью указанной БД получен полный цифровой структурированный в виде БД комплект документов по надёжности при доводке двигателя в зоне ответственности ПАО «НПО «Сатурн». С момента ввода первых двигателей SAM146 в серийную эксплуатацию все инциденты с двигателем регистрируются в БД серийного сопровождения [2], для чего была проведена

её доработка в части внесения дополнительных классификационных признаков, в том числе соответствующих методическими указаниями AMC and GM to Part 21 [6].

С целью организации сбора и обработки результатов и оптимизации объёма экспериментальной доводки в рамках выполнения опытно-конструкторских работ вновь разрабатываемых (модернизируемых) образцов ГТД для ГосА РФ разработана БД «ОКР», включающая оценку вейбайесовской модификации исходных распределений эффективности в соответствии с методикой [7, 8]. Накопленная в БД информация на этапе предварительных испытаний перед ГСИ представляет собой цифровой вариант истории доводки изделия.

С целью распространения опыта сопровождения надёжности авиационных ГТД и с учётом особенностей процессов ввода в серийную эксплуатацию для практической реализации мониторинга отказобезопасности конструкции промышленных газотурбинных двигателей (ПГТД) разработана и внедрена в ПАО «НПО «Сатурн» база данных «Надёжность промышленных ГТД» [9]. Указанная БД применяется для количественной оценки показателей готовности парков ПГТД.

Опыт разработки БД для сопровождения надёжности всего спектра ГТД разработки и сопровождения эксплуатации ПАО «НПО «Сатурн» позволил сформулировать и реализовать верхнюю по отношению к представленным выше БД, - базу данных Системы карт закрепления дефектов (БД КЗД), с помощью которой и в соответствии с требованиями уровня критичности последствий инцидента контролируются сроки внедрения мероприятий по устранению конструктивно-производственных дефектов. К 2016 году все базы данных объединены в единый программный комплекс «Надёжность» с ранжированным доступом для пользователей. Базы данных АГТД, ПГТД, SAM146, ОКР связаны через собственные классификаторы «типа отказа» с БД КЗД, а через идентификаторы записей таблиц – заключений (и /или планов) с БД «Мероприятия исследований». Общая схема взаимосвязи баз данных программного комплекса «Надёжность» представлена на рис.1.

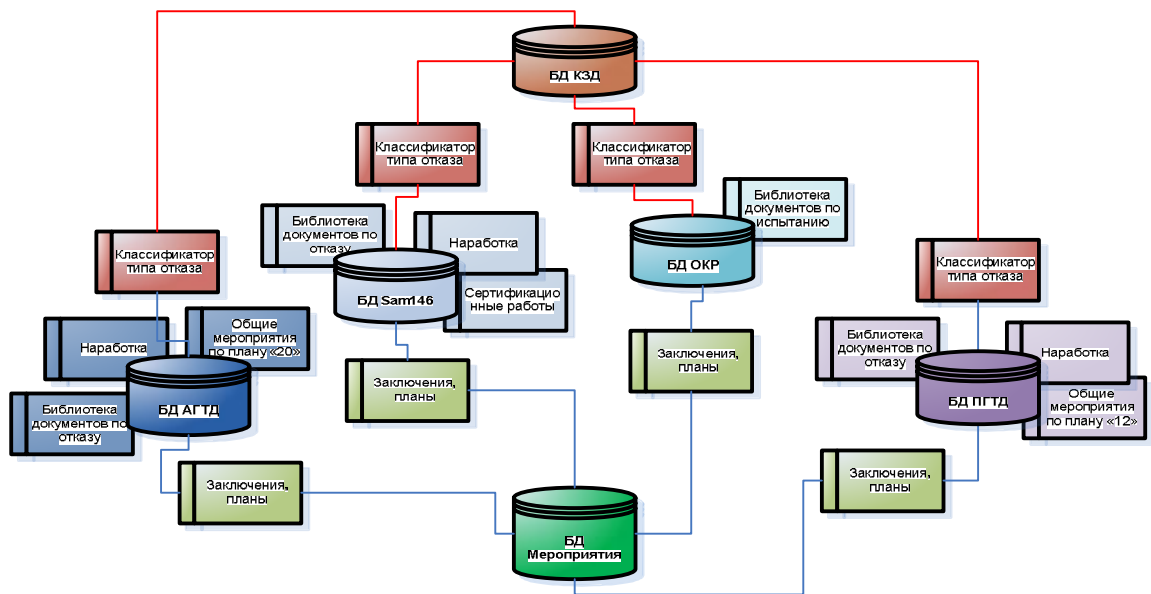


Рис.1. Общая схема взаимосвязи баз данных программного комплекса «Надёжность»

### Библиографический список

1. Свидетельство о государственной регистрации базы данных Надёжность серийных авиационных ГТД. № 2005620002 от 11 января 2005 г. Правообладатель ПАО НПО «Сатурн». Авторы: Сарычев С.В., Логинова Н.Г.

2. Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Показатели надёжности авиационных ГТД» № 2008620188 от 29 апреля 2008. Правообладатель ПАО НПО «Сатурн». Авторы: Сарычев С.В., Логинова Н.Г.

3. Свидетельство FIP № 11-359 от 11.10.2011 о регистрации ОИС. Тип производство науки (служебное). Методика № 44-407713. Оценка наработки до отказа деталей группы особо ответственных на основе вейбуловой и вейбайесовой статистической модели. Оценка риска отказа. Статистическая модель отказа диска 1 ст. КНД двигателей Д-30КУ/КП/КУ-154. Ред.1, ОАО «НПО «Сатурн» - ЦИАМ, Рыбинск, 2009. Правообладатель ПАО НПО «Сатурн». Авторы: С.В. Сарычев, А.А. Охотников, А.О. Костенко.

4. Свидетельство FIP № 16-582 от 09.02.2016 о регистрации ОИС. Тип производство науки (служебное). Методика № 111/011-АГТД-ПМ-117/2015. Оценка уровня безотказности парка маршевых авиационных ГТД на этапе установившейся серийной эксплуатации при малых значениях эксплуатационных данных по надёжности. Правообладатель ПАО НПО «Сатурн». Авторы: С.В. Сарычев, Н.Г. Логинова.

5. Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Учет и анализ инцидентов, выявленных в процессе сертификационных испытаний авиационных газотурбинных двигателей». № 2009620446 от 7 сентября 2009 г. Правообладатель ПАО НПО «Сатурн». Авторы: С.В. Сарычев, Н.Г. Логинова.

6. Dec. # 2003/1/RM, 17.10.2003 EASA (“AMC and GM to Part 21”). AMC and GM to Part 21 Acceptable Means of Compliance and Guidance Material for the airworthiness and environmental certification of aircraft and related products, parts and appliances, as well as for the certification of design and production organizations.

7. Свидетельство FIP № 13-471 от 11.11.2013 о регистрации ОИС. Тип производство науки (служебное). Методика. ГТД для БПЛА. Оценка уровня надёжности изделия на этапе предварительных испытаний перед ГСИ. Правообладатель ПАО НПО «Сатурн». Автор: С.В. Сарычев.

8. RU 2474804C1. Патент РФ на изобретение № 2474804 от 10.02.2013. Способ доводки двигателя. Правообладатель ПАО НПО «Сатурн». Авторы: С.В. Сарычев, А.А. Охотников.

9. Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Надёжность промышленных ГТУ». № 2009620003 от 14 января 2009 г. Правообладатель ПАО НПО «Сатурн». Авторы: С.В. Сарычев, Н.Г. Логинова.