

В данном документе представлена разработанная и внедрённая в АО «Корпорация «Тактическое Ракетное вооружение» (АО «КТРВ») методика проведения оперативной расчётной оценки конструкции летательного аппарата (ЛА), представляющая собой совокупность расчётных исследований в различных направлениях по сопровождению разработки. Методика позволяет производить оценку применимости конструкции ЛА при критических условиях нагружения.

Разработанная методика апробирована на примере модельного ЛА. Расчёты, включённые в методику, основаны на компьютерном моделировании с использованием МКЭ и МКО с использованием высокопроизводительных вычислительных ресурсов. Результаты расчётов, проведённых по данной методике, верифицированы с доверенными программными комплексами и валидированы по результатам испытаний.

Результаты разработки методики оперативной оценки интегральной прочности конструкции летательного аппарата при критических условиях эксплуатации, включающие в себя локальное и комплексное действие статических, динамических, тепловых, аэродинамических и инерционных нагрузок, с использованием высокопроизводительных вычислительных ресурсов. Необходимость создания и внедрения данной методики была обусловлена необходимостью выполнения опытно-конструкторских работ по созданию и разработке конструкций высокоточных образцов ракетного вооружения и авиационных средств поражения (АСП) в кратчайшие сроки с сохранением высоких требований надёжности и качества. Развитие и применение, используемых в методике, цифровых технологий позволяет повысить эффективность, оптимизировать количество, состав и объём натуральных и полунатурных испытаний изделий на различных этапах жизненного цикла, за счёт перевода части наиболее труднореализуемых, трудозатратных и продолжительных испытаний в цифровую среду.

Методика представляет собой структурный, комплексный подход к решению задач прочности конструкций летательных аппаратов, позволяющая

оптимизировать объём необходимых наземных испытаний и натурных пусков. Методика создана, отработана и применяется для оперативного решения задач статической, динамической и температурной прочности и безопасности от возникновения флаттера новых изделий, востребованных в зоне СВО.

Финансирование комплекса мероприятий по разработке и реализации данного проекта осуществлялись за счет собственных средств АО «Корпорации «Тактическое ракетное вооружение», а дальнейшее серийное производство ЛА за счет Министерства обороны Российской Федерации в рамках гособоронзаказа.

Целью работы является разработка и внедрение методики оперативной расчётной оценки применимости ЛА на всех режимах эксплуатации.

Задачами работы являются:

1. Разработка части методики для исследования прочности конструкции ЛА при совместном и автономном применении;
2. Разработка части методики для исследования теплового состояния конструкции ЛА при совместном и автономном применении;
3. Разработка части методики для исследования частотного анализа силовой конструкции и несущих поверхностей ЛА при совместном и автономном применении;
4. Разработка части методики для исследования флаттера ЛА в автономном применении;
5. Интегральная оценка прочности силовой конструкции и несущих поверхностей ЛА при критических условиях эксплуатации.

Расчёты выполнялись с использованием высокопроизводительных вычислительных ресурсов на кластере АО «КТРВ», что позволило значительно ускорить получение результатов. Эффективность методики статистически подтверждена при применении изделий в условиях СВО по результатам более чем 20000 пусков.

1 Расчёт аэродинамического воздействия и теплового состояния в условиях совместного и автономного применения

Из-за наличия большого количества средств подавления высокоточного управляемого вооружения в распоряжении потенциального противника, встала задача об адаптации имеющихся авиационных средств поражения (далее ЛА) связанное как с интегрированием в изделия новейших средств навигации, так и увеличении дальности применения за счет интегрирования в конструкцию модулей планирования.

В первую очередь решение данной задачи заключается в определении режимов и оЛАсти применения ЛА с существующими носителями, а именно, расчёт аэродинамического воздействия и теплового состояния на ЛА.

На рисунках 1-4 представлен расчёт аэродинамического воздействия в условиях совместного применения. Модель, используемая в расчёте позволяет учитывать интерференцию в совместном применении.

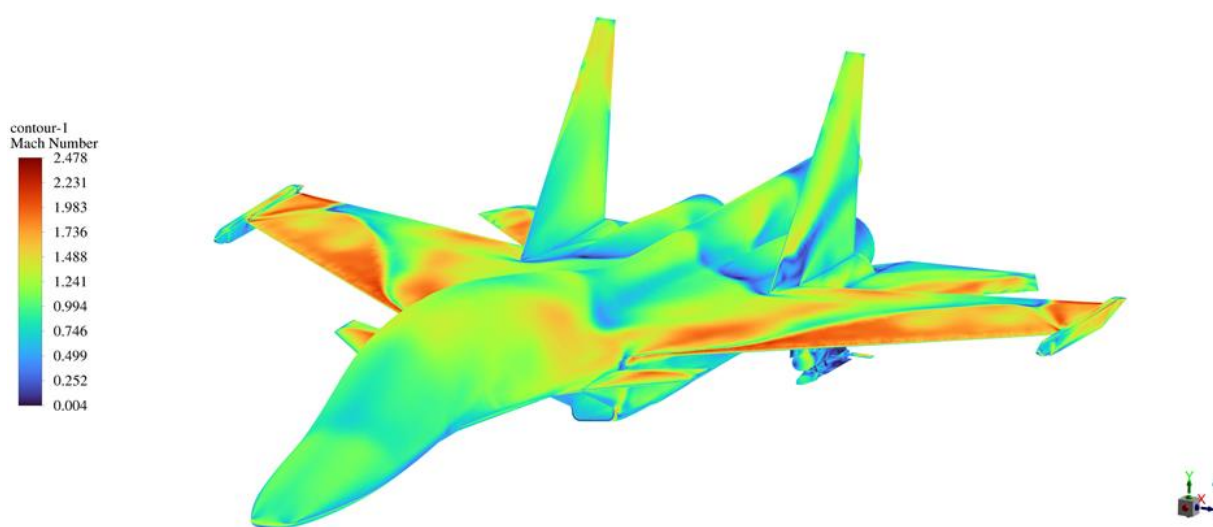


Рисунок 1 – Внешнее обтекание носителя с ЛА

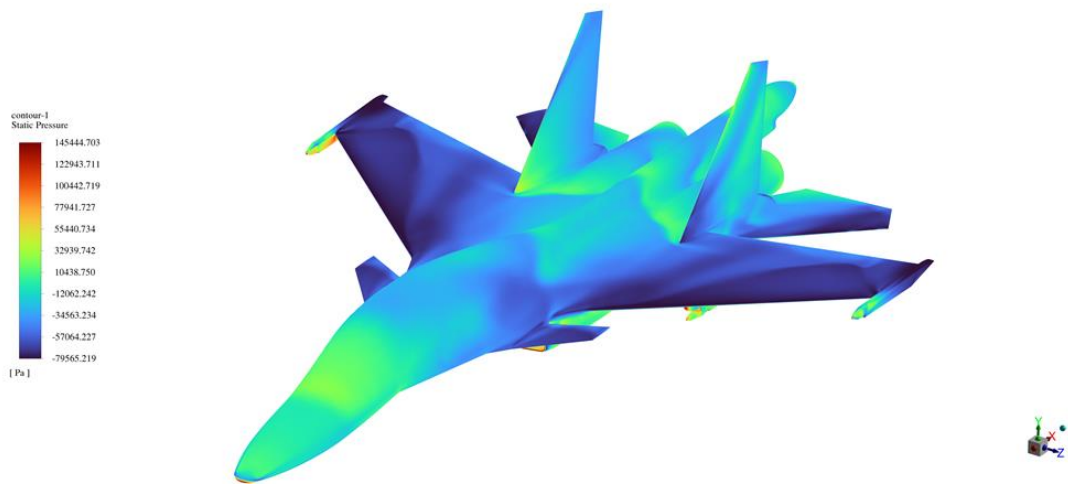


Рисунок 2 – Распределение давления на носителе и ЛА

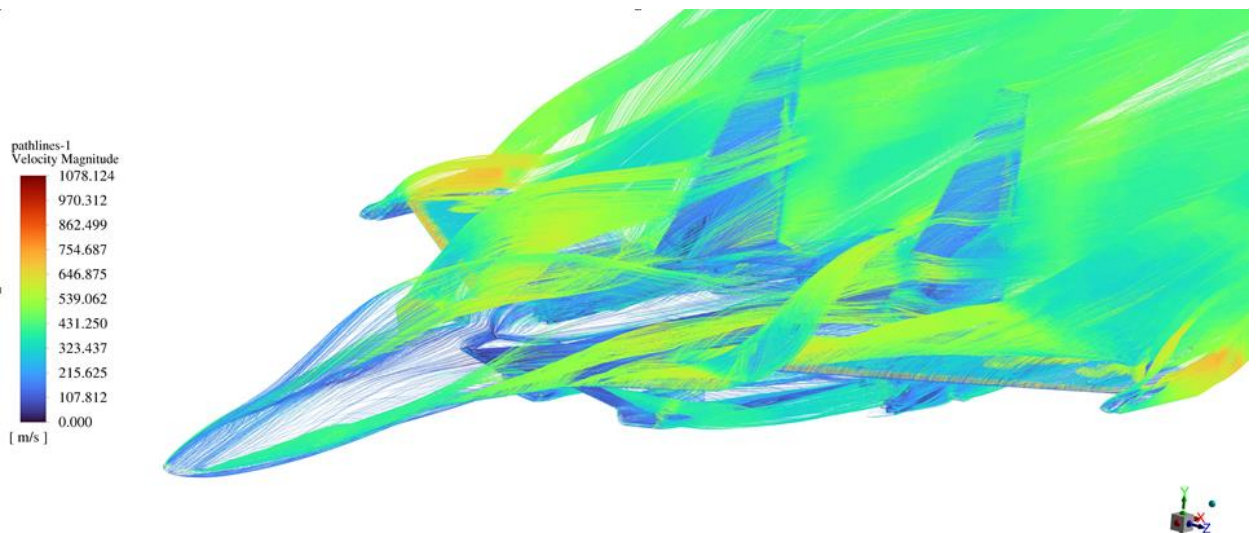


Рисунок 3 – Распределение скорости потока на носителе и ЛА

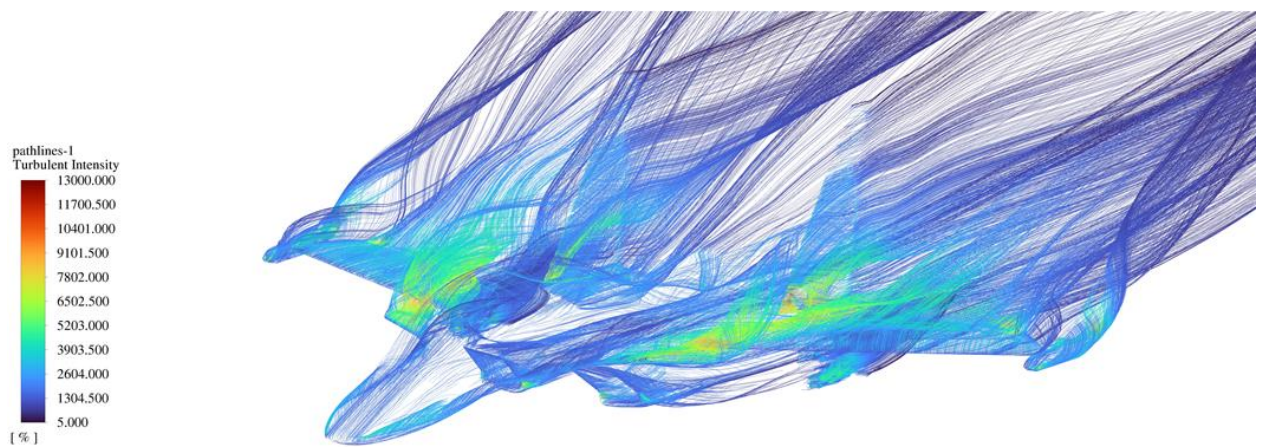


Рисунок 4 – Распределение вихревого потока на носителе и ЛА

Следующим этапом моделирование является детальный анализ максимально нагруженных режимов применения и их влияние на интегрированное оборудования в ЛА. Результаты исследований приведены на рисунках 5-6.

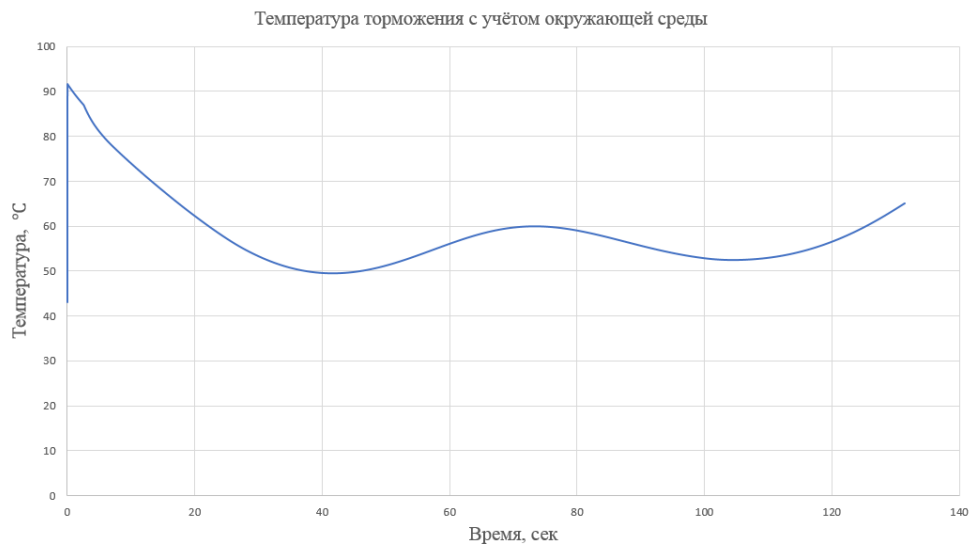


Рисунок 5 – График изменения температуры торможения с учётом окружающей среды в автономном применении

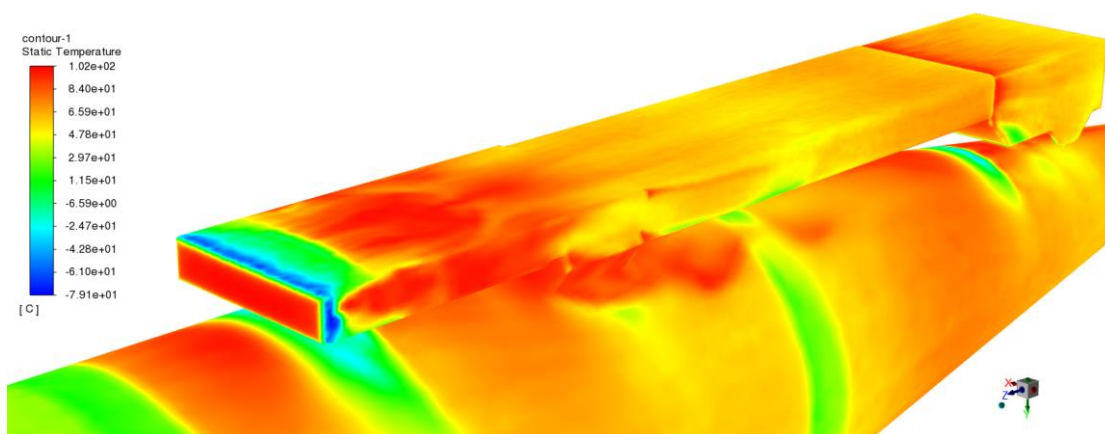


Рисунок 6 – Распределение температуры по поверхности ЛА

Результатом исследований является идентификация наиболее нагруженного режима применения исследуемого объекта, а также усовершенствование конструкции (при необходимости) для возможности дальнейшего применения.

2. Расчёты на статическую прочность ЛА

Задача статической прочности заключается в анализе конструктивно-силовой схемы ЛА, а также ее адаптация для применения ряда существующих носителей изделий на основе полученных режимов нагружения в том числе и термостатических.

В данном разделе описаны задачи, решённые в процессе сопровождения разработки ЛА по разработанной методике в части исследования статической прочности под влиянием распределенной аэродинамической нагрузки. Результаты проведенных исследований частично приведены на рисунках 8-10.

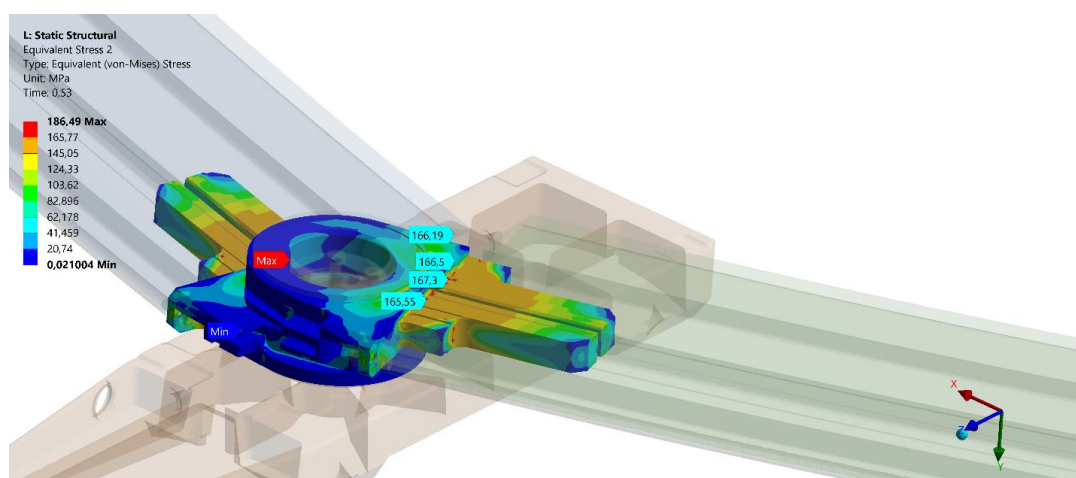


Рисунок 8 – Распределение эквивалентных напряжений по комелям, МПа

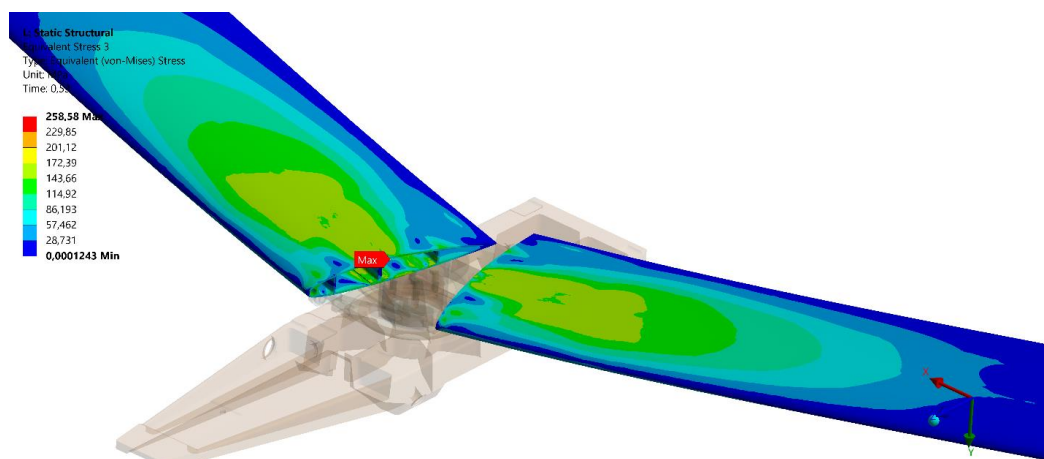


Рисунок 9 – Распределение эквивалентных напряжений по консолям, МПа

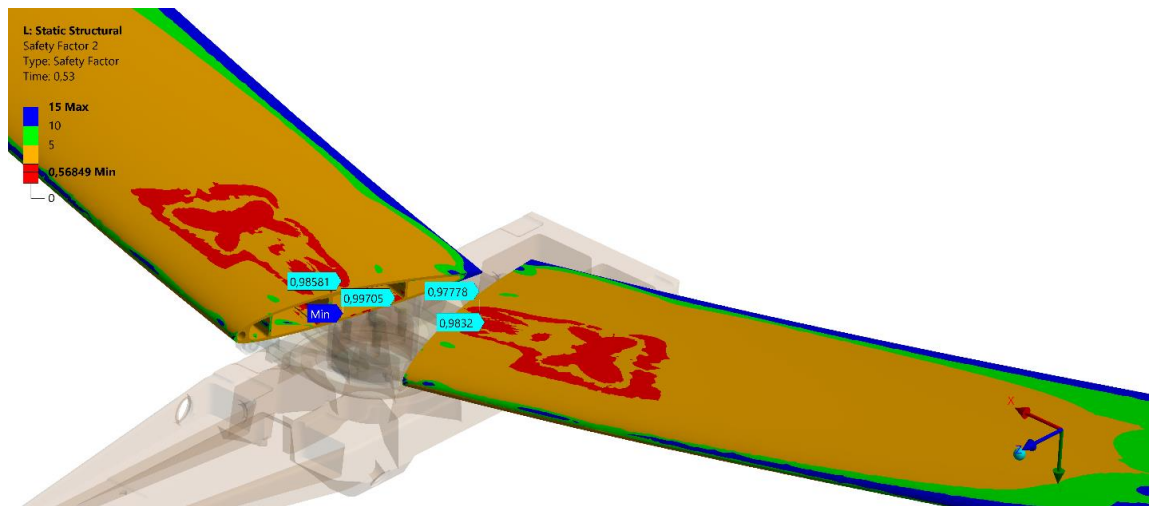


Рисунок 10 – Распределение коэффициента запаса текучести по консолям

3 Основные положения исследования динамической аэроупругой устойчивости

Проектирование современного ЛА связано с необходимостью решения многих научно-технических задач. В их число входит предотвращение автоколебаний ЛА в полете с учетом упругости конструкции. Данная задача относится к науке динамической аэроупругости, в которой рассматривается взаимодействие упругой конструкции при ее колебаниях с потоком воздуха.

Своевременное решение данной задачи на ранних этапах проектирования ЛА, а именно, до создания опытных образцов позволяет избежать дополнительных временных и финансовых затрат связанных с модернизацией опытного образца и дополнительным проведением комплекса испытаний.

В данном разделе представлены основные результаты анализа флаттера несущих поверхностей ЛА, а именно, годографы устойчивости.

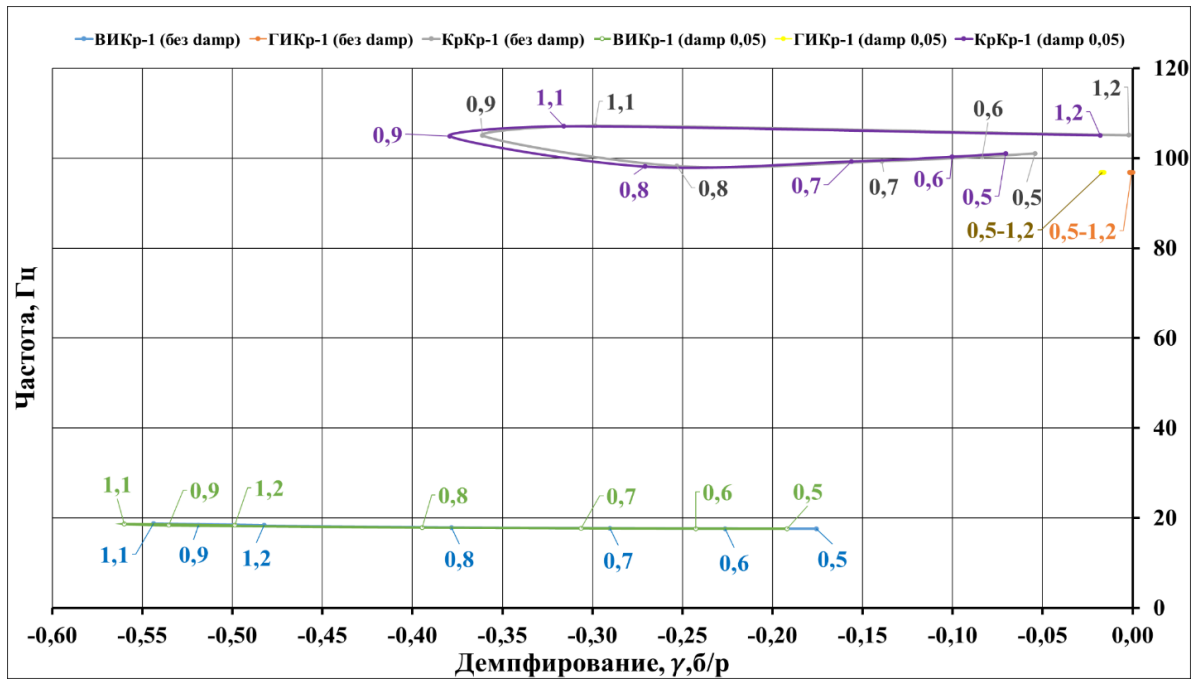


Рисунок 11 – Годограф относительной скорости на плоскости комплексных частот колебаний консоли крыла недемпфированной и демпфированной систем для первых трех тонов колебаний

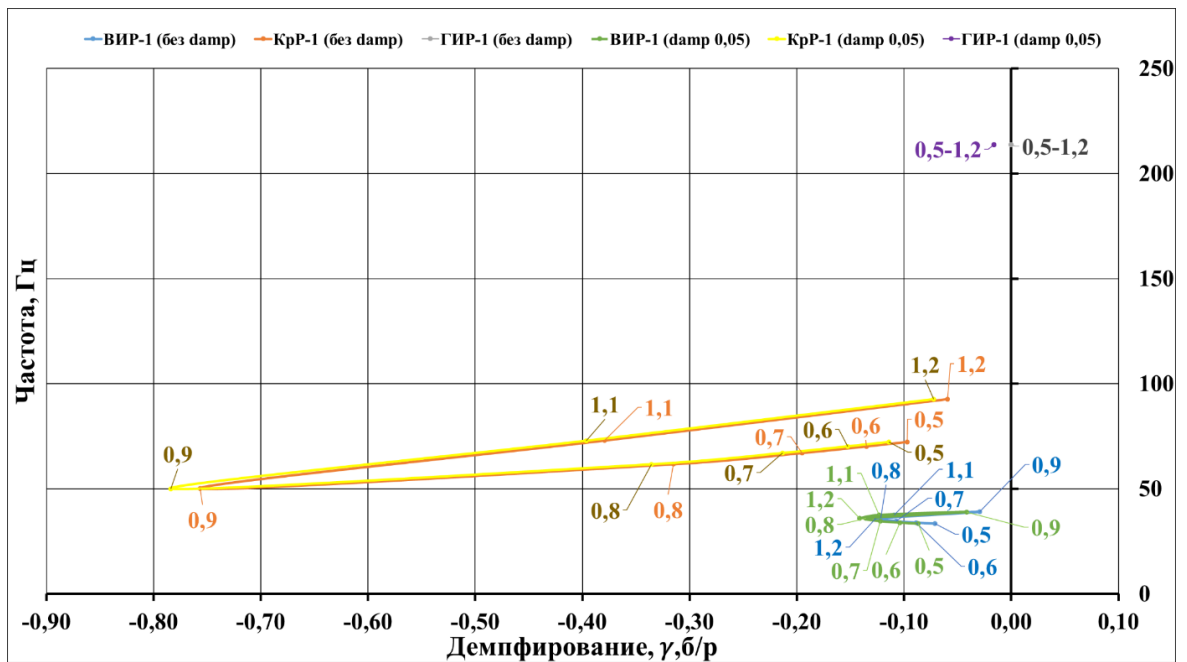


Рисунок 12 – Годограф относительной скорости на плоскости комплексных частот колебаний консоли руля недемпфированной и демпфированной систем для первых трех тонов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика оперативной расчётной оценки применимости ЛА на всех режимах эксплуатации. Методика успешно внедрена в АО «КТРВ» и используется для проведения расчётных оценок.

В процессе разработки решены следующие задачи:

1. Разработана часть методики для исследования прочности ЛА при совместном и автономном применении;
2. Разработана часть методики для исследования теплового состояния ЛА при совместном и автономном применении;
3. Разработана часть методики для исследования частотного анализа ЛА при совместном и автономном применении;
4. Разработана часть методики для исследования флаттера и аэросервоупругости ЛА при совместном и автономном применении.

Расчёты выполнялись с использованием высокопроизводительных вычислительных ресурсов на кластере АО «КТРВ», что позволило значительно ускорить получение результатов. По результатам верификации и валидации внедрённой методики максимальное отклонение не превысило 5%.

Созданная и внедрённая в производственный процесс АО «Корпорации «Тактическое ракетное вооружение» методика оценки интегральной прочности конструкции летательного аппарата при критических условиях эксплуатации отработана и применяется для оперативного решения задач статической, динамической прочности и безопасности от возникновения флаттера новых образцов авиационных средств поражения, востребованных в зоне СВО. В дальнейшем может быть использована для проектирования и оперативного анализа, а также модификации изделий.

Применение методики позволило значительно оптимизировать проведение наземных и летных испытаний, что обеспечило своевременное выполнение гособоронзаказа в условиях жестких временных рамок.

Эффективность методики подтверждена в условиях СВО по результатам более чем 20000 пусков.