

НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ОБРАБОТКИ СТАТИСТИКИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЖИДОСТНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

©2016 М.А. Яблочко

Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва, г. Королёв

NEW PRINCIPLES OF STATISTICS USED TO DIAGNOSE THE STATE OF LIQUID ROCKET ENGINE

Yablochko M.A. (RSC «Energia», Korolev, Russian Federation)

In this article the substantiation of the use of statistics collected during operation of the rocket engine, to calculate the limit values of diagnostic parameters used for condition diagnostics of LRE and ensure the emergency protection of rocket engines.

Применение средств диагностики и аварийной защиты жидкостных ракетных двигательных установок является одним из наиболее эффективных способов повышения надёжности, безаварийности и безопасности ракетно-космической техники.

Предлагается метод определения предельных значений диагностических параметров, который позволяет существенно повысить эффективность средств диагностики и аварийной защиты.

Как правило, для оценки стабильности работы ЖРД и определения предельных значений диагностических параметров используется большое количество безаварийных испытаний двигателей окончательного варианта конструкции.

Предлагаемая методика основана на анализе (в ходе работы ЖРД) поведения контролируемого параметра на участке установившегося режима (режима главной ступени) работы ЖРД.

Данная методика предполагает следующий порядок набора и обработки статистики:

- на текущем испытании выделяется отрезок времени определённой длительности;
- на выделенном отрезке времени в ходе работы двигателя рассчитывается математическое ожидание контролируемого параметра;
- формируется выборка из максимальных по модулю значений параметра на участках, ограниченных точками пересечения

текущего значения параметра с его математическим ожиданием;

- согласно выбранному закону распределения случайных чисел рассчитывается предельное максимальное (или минимальное) значение параметра, соответствующее величине при заданной вероятности.

На рис. 1 приведены график приращения параметра «Давление окислителя после насоса» (ОПН) и рассчитанные по предлагаемой методике верхние и нижние предельные значения. В данном случае приращение параметра – это разность математических ожиданий одного и того же параметра при его усреднении за разные промежутки времени τ_1 и τ_2 , где $\tau_1 < \tau_2$. Расчёт проводился при использовании данных, полученных на испытании № 16684 двигателя 11Д58М.

Участок набора статистики соответствует времени от 20 с (полная стабилизация процесса) до 20,5 с (время, достаточное для получения 20 значений, необходимых для расчёта). Полученные предельные уровни приращения давления окислителя после насоса равны 4,089 и -4,085 кг/см².

Данную методику можно так же использовать для расчёта предельных значений параметров процесса, используя статистику, набранную за весь период испытания. Результаты такого расчёта приведены на рис. 2. Полученные предельные уровни приращения давления окислителя после насоса равны 4,211 и -4,211 кг/см².

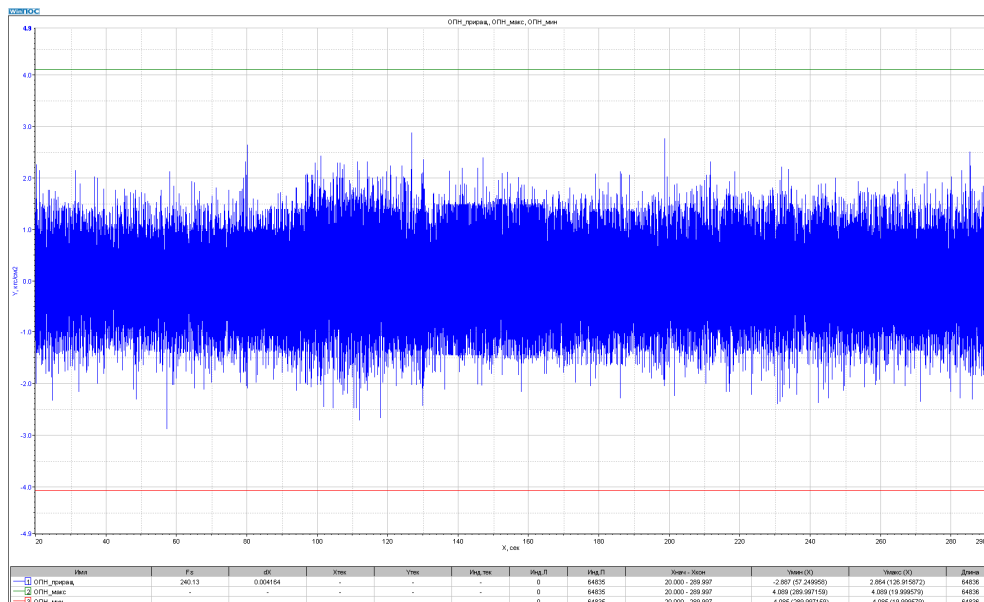


Рис. 1. Приращение ОПН и предельные значения данного параметра, рассчитанные по новой методике на участке длительностью 0,500 с

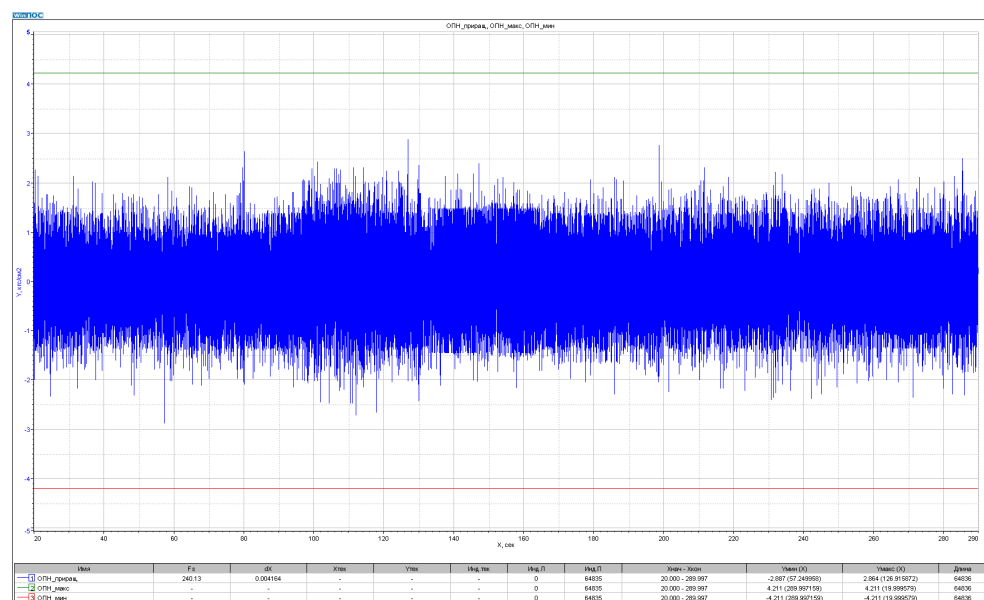


Рис. 2. Приращение ОПН и предельные значения данного параметра, рассчитанные по новой методике на всём номинальном режиме работы

Приведённые данные показывают, что результаты анализа участка работы ЖРД длительностью 500 мс, получаемые во время его работы, не противоречат результатам анализа всего номинального режима работы данного ЖРД, получаемым только после окончания работы двигателя.

Фактически значения предельных уровней контролируемого параметра, полученные на всём времени работы ЖРД, очень близки к значениям предельных уровней,

рассчитанным на заданном отрезке времени его работы.

Предлагаемая методика позволяет назначать предельные уровни контролируемых параметров, по которым осуществляется диагностика, значительно более точно (10-25% от абсолютного значения параметра), чем методики, используемые до сих пор, что позволяет реализовывать аварийную защиту ЖРД более эффективно, в том числе на самых ранних этапах отработки.