

А.В. Дегтярев, А.Э. Кашанов, Л.В. Кривобоков

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПЛАНИРОВАНИЮ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ НОВЫХ И МОДЕРНИЗИРУЕМЫХ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

Аннотация. Выполнен системный анализ основных принципов организации и проведения экспериментальной отработки ракеты - носителя и ее частей. Разработан показатель эффективности экспериментальной отработки.

Ключевые слова: Ракета – носитель, экспериментальная отработка, условия испытаний, летные испытания, сборочная единица.

Экспериментальная отработка, как определяющий этап разработки или модернизации ракет-носителей (РН), решает следующие основные задачи:

подтверждение правильности основных технических решений, принятых на проектных стадиях;

подтверждение требований к надежности систем, в том числе с использованием опыта предыдущих разработок и существующего оборудования;

проведение анализа выявленных в результате испытаний дефектов, разработка и реализация мероприятий для устранения их причин с последующим подтверждением эффективности доработок дополнительными испытаниями;

обеспечение перехода к серийному производству.

В целом полный объем экспериментальной отработки ракетно – космической техники (РКТ) делится на два этапа:

- наземная отработка (НЭО);
- летные испытания (ЛИ).

Порядок планирования и организация экспериментальной отработки изделий РКТ регламентирован целым рядом директивных документов и определяется как демонстрация Заказчику того, что продукция, произведена в соответствии с установленной конфигурацией, удовлетворяет техническим требованиям в заданных условиях эксплуатации. Главным требованием отработки является максимальное приближение условий испытаний к эксплуатационным. Такие условия удается получить только при летных испытаниях ракетной тех-

ники, что принципиально отличает ее от других видов техники.

Современные рыночные тенденции разработки сложных систем планирования экспериментальной отработки требуют оптимизации количества материальной части для испытания, исходя из экономии финансовых затрат при одновременном выполнении заданных эксплуатационных характеристик ракетного комплекса (в первую очередь - надежности и безопасности).

Оптимизация отработки РН и обоснование оптимального соотношения объемов между рассматриваемыми этапами (НЭО и ЛИ) являются в настоящее время очень актуальной задачей, решаемой лишь частично для отдельных простых систем. Одним из ключевых подходов к разработке РКТ является максимально широкое использование в новой разработке ранее принятых принципиальных схемно-технических решений, разработанных и прошедших испытания (в том числе и летные) узлов, систем и агрегатов РН и систем наземного комплекса. Такой подход в первую очередь значительно повышает надежность новых систем и снижает общий уровень затрат на разработку.

Системный подход к экспериментальной отработке в современных условиях кроме того диктует требование о значительном смещении центра тяжести отработки в сторону НЭО и снижения объемов и длительности ЛИ. Внедрение в отработку методов и программ моделирования, совмещение объектов и видов испытаний, повышение точности экспериментов и т.п. позволяют значительно уменьшить затраты и время на наземную отработку.

Однако, несмотря на внедрение вышеупомянутых способов оптимизации отработки, полностью заменить этап НЭО расчетами и моделированием в настоящее время не предоставляется возможным как из-за сложности самой РН и ее интерфейсов, так и из-за сложности протекающих процессов ее функционирования.

Задача оптимизации экспериментальной отработки решалась многими авторами в различной постановке и при различных ограничениях [1 - 3]. В работе [3] рассмотрен подход, который позволяет построить кривые роста эффективности сложной системы по результатам испытаний отдельных составных частей. В данной работе сказано, что опыт отработки показал, что дефекты выявляются на самых различных этапах экспериментальной отработки и процесс выявле-

ния дефектов является случайным. Однозначным утверждением является то, в процессе отработки эффективность системы возрастает и описывается экспоненциальными кривыми.

Однако при реальном проектировании на сегодняшнем этапе развития РКТ в новых или модернизируемых разработках, исходя из требований повышения надежности, снижения затрат и сроков на разработку рассматривается возможность и необходимость заимствования технического опыта предыдущих разработок. В таких условиях требуется разработка новых комплексных критериев, содержащих финансовую составляющую. Такие критерии уже на стадии раннего проектирования должны количественно характеризовать новую разработку.

Определим термин «планирование наземных испытаний РН» как нахождение таких условий и правил проведения испытаний, при которых удастся получить наиболее надежную и достоверную информацию о работоспособности РН в заданных условиях с наименьшими затратами средств на проведение испытаний и представить эту информацию в компактной и удобной для использования форме с количественной оценкой ее точности, если таковую можно получить.

Для выполнения указанных условий используются основные принципы организации и проведения экспериментальной отработки РН и ее составных частей, эффективность которых подтверждена многолетним опытом создания ракетной техники:

- максимальное использование опыта предыдущих разработок, планирование испытаний для тех элементов и сборок, которые имеют непроверенные схемные и конструктивные решения или функционирующих в условиях, для которых расчетные методы дают недостаточно точный прогноз работоспособности, а также для случаев, когда экспериментальное подтверждение работоспособности или характеристик является отдельным требованием Заказчика;

- экспериментальная отработка осуществляется поэтапно с последовательным усложнением конструкции объектов испытаний;

- экспериментальная проверка схемных проектных и конструктивных решений осуществляется в условиях, максимально приближенным к условиям эксплуатации;

- использование при отработке современных методов контроля, наиболее эффективно выявляющих причины возможных отказов;

– осуществление отработки в условиях эффективно функционирующей системы сбора и обработки информациио результатах испытаний, а также эффективной системы реализации мероприятий по устранению причин отказов;

– повторное или многократное использование опытных конструкций, участвующих в отработке с целью сокращения затрат на отработку.

Основной целью НЭО является практическая демонстрация на наземных стендах того, что продукция произведена в соответствии с установленной конфигурацией, удовлетворяет требованиям ТЗ, ИД в заданных (или максимально приближенных к заданным) условиях эксплуатации. Основная задача НЭО – максимальное приближение условий испытаний и конструкции к реальным условиям эксплуатации и штатной конструкции РН.

Вышеуказанные принципы, цели и задачи воплощаются в план наземной экспериментальной отработки РН и ее составных частей – «Комплексный план экспериментальной отработки» (КПЭО).

Завершающим и важнейшим этапом экспериментальной отработки РН является этап летных испытаний. В соответствии с требованиями нормативно-технической документации основными целями ЛИ являются:

– всесторонняя проверка и подтверждение характеристик РН и ракетно-космического комплекса (РКК), заданных в ТТЗ в условиях, максимально приближенных к условиям эксплуатации и в реальных условиях функционирования;

– отработка эксплуатационной документации и проверка достаточности и эффективности НЭО составных частей и РН в целом, проведение такой отработки РН, которую было невозможно было осуществить в наземных условиях;

– определение возможности принятия РКК в эксплуатацию;

– разработка рекомендаций по усовершенствованию РН при дальнейшей модернизации.

Условием перехода к ЛИ является успешное завершение НЭО и выпуск итогового отчета о готовности к НИ. Этап летных испытаний является более дорогостоящим этапом отработки, поскольку стоимость испытаний РН включает еще затраты на изготовление РН в сборе, программно – методическое, инженерное и эксплуатационное

обеспечение пусков на специальном испытательном полигоне, включая отчуждение полей падения отделяемых частей РН, работу выносных измерительных пунктов по траектории полета и т.д.

При модернизации или доработке уже существующей РН основным вопросом является квалификация модернизируемой РН с тем, чтобы максимально учесть результаты экспериментальной отработки ракеты – аналога и свести к минимуму затраты на доработку (в том числе на экспериментальную отработку). Для планирования НЭО и ЛИ модернизированной РН в соответствии с установившейся практикой составные части РН целесообразно квалифицировать по четырем категориям: А, В, С, и D.

Смысл этих категорий, которые означают квалификационный статус сборочной единицы состоит в следующем:

А – существующие сборочные единицы, которые не требуют доработки и которые прошли квалификационные испытания для применения в условиях не менее жестких, чем те, которые требуются для данного проекта;

В – существующие сборочные единицы, которые не требуют доработки и которые прошли квалификационные испытания для применения в условиях менее жестких, чем те, которые требуются для данного проекта. Требуется проведение квалификационных испытаний для проверки работоспособности в новых условиях эксплуатации;

С – существующие сборочные единицы, которые требуют незначительных доработок. Требуется проведение квалификационных испытаний для проверки работоспособности после проведения доработок;

D – вновь разработанные или существующие сборочные единицы, которые требуют значительных доработок. Требуется проведение квалификационных испытаний.

Первым шагом по установлению квалификации модернизируемой РН является составление структурной схемы РН, то есть разбивка ее на крупные сборочные единицы и установление статуса каждой сборочной единицы. Для этого проводится подробный анализ конструкции и условий эксплуатации аналога с присвоением соответствующего статуса. Целесообразно также ввести количественную оценку статуса, что делается, как правило, экспертным путем с привлечением конструкторов и ведущих специалистов в данной области.

Таким образом, по результатам такого анализа получаем итоговую таблицу 1.

Таблица 1

Статус квалификации	Наименование сборочной единицы					
A	A1	A2	...	A _i	...	A _N
B	B1	B2	...	A _j	...	B _M
C	C1	C2	...	C _k	...	C _Q
D	D1	D2	...	D _l	...	D _R

Где A_i – наименование i-й сборочной единицы категории A; i=1, N;
 B_j – наименование j-й сборочной единицы категории B, j=1, M;
 C_k – наименование k-й сборочной единицы категории C; k=1, Q;
 D_l – наименование l-й сборочной единицы категории D; l=1, R;
 i=1, N – общее количество сборочных единиц категории A;
 j=1, M – общее количество сборочных единиц категории B;
 k=1, Q – общее количество сборочных единиц категории C;
 l=1, R – общее количество сборочных единиц категории D.

Если теперь обозначить SA_i(SB_j, SC_Q, SD_R) – стоимость изготовления и испытания сборочной единицы типа A (или B, C, D соответственно), а γ – степень модернизации, то есть количественное выражение доработки конструкции (изменения условий применения), причем γ=0...1, то есть

γ=1 – полностью новая сборочная единица,

γ=0 – полностью заимствованная сборочная единица, то количественное выражение для оценки затрат на модернизацию будет иметь вид:

$$S\Delta = \sum_{i=1}^N \gamma A_i * SA_i + \sum_{j=1}^M \gamma B_j * SB_j + \sum_{k=1}^Q \gamma C_k * SC_k + \sum_{l=1}^R \gamma D_l * SD_l \quad (1)$$

Рассмотрим применение такой методологии для расчета затрат на модернизацию дорабатываемой конструкции первой степени РН типа «Зенит».

Используя выражение (1) получим расчетное значение

$$S\Delta = 16,2 \text{ усл. единиц} \quad (2)$$

Таким образом, численные значения (2) могут уже на предпроектной стадии использоваться для предварительного заключения о це-

лесообразности модернизации конструкции в данной конфигурации. Примером такой модернизации может служить основная конструкция первой ступени РН «Таурис-2», подготовка и проведение летных испытаний уже запланировано на 2012 год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование и испытания баллистических ракет / под редакцией Варфоломеева А.И. и Копытова М.И. – Москва: Воениздат, 1970, 392 с.
2. Летные испытания ракет и космических аппаратов / Е. И. Кринецкий, Л.Н. Александровская, А.В. Шаронов, А.С. Голубков; Под ред. Е.И. Кринецкого. – Москва: Машиностроение, 1979, 464 с.
3. Эффективность научно-технических проектов и программ /Пилипенко О.В., Переверзев Е.С., Алпатов А.П., Марченко В.Т., Печеневская О.К., Хорольский П.П. – Днепропетровск: Пороги, 2008, 509 с.
4. РКК «Таурис-2». Комплексная программа экспериментальной отработки основной конструкции первой ступени РН и систем РКК. ГП КБЮ, 2009г., 93 л.