

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ЖРД И ОПЫТ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ПРОГРАММЫ SEA LAUNCH**

*И.Н. Никищенко, Б.Ю. Небосенко,*

*Государственное конструкторское бюро «Южное», г. Днепропетровск, Украина*

В ходе проведения стендовых и летных испытаний осуществляется регистрация большого числа параметров, характеризующих работу ЖРД. Ценность получаемой в ходе испытания информации, как правило, сопоставима со стоимостью одного испытания, следовательно, возникает необходимость обеспечения защиты этой информации, ее унификации, возможности быстро и качественно обрабатывать, анализировать и представлять получаемую информацию. Решение этой проблемы может выглядеть двояко. С одной стороны, можно содержать людей, которые будут отвечать за выполнение этих требований, с другой стороны можно возложить часть полномочий (таких, как обработка, хранение, анализ) на компьютер и соответствующее программное обеспечение. Можно перечислить целый ряд требований, предъявляемых к автоматизированной обработке данных: хранение данных на специально отведенном компьютере (сервере), разграничение прав доступа к этой информации, оперативное построение графиков регистрируемых параметров; возможность сопоставления между собой однотипных параметров по нескольким испытаниям; фильтрация зашумленных сигналов; вычисление производных параметров по заданным формулам; расчет временных характеристик переходных процессов ЖРД; оценка средних и среднеинтегральных значений по режимам работы ЖРД; регрессионный анализ для выявления зависимостей; статистический анализ для оценки распределений; итоговое представление информации в печатном виде и др.

Немаловажным критерием оперативности анализа является возможность быстрого доступа к информации того круга людей, на которых она рассчитана, защищенность этой информации и безопасность хра-

нения. Очевидно, что улучшение качества анализа данных может сократить расходы на проведение повторных испытаний, что необходимо при работе с иностранными партнерами (например, программа Sea Launch).

В настоящее время рынок программного обеспечения предлагает огромное количество разнообразных пакетов, которые хорошо решают те или иные задачи. В случае их использования зачастую возникает ряд проблем: передача данных между пакетами (каждый из которых использует свой формат хранения данных); централизованное хранение и распределение этих данных между людьми, которые участвуют в анализе испытаний ЖРД; вторичная обработка данных в различных пакетах может иметь различную реализацию и соответственно давать отличающийся результат. Возможен, например, такой вариант: в одном программном продукте хорошо реализован механизм представления данных в графическом виде, но есть существенные недостатки, связанные с хранением данных, а в другом пакете - наоборот. Следовательно, для успешного решения всех этих задач в комплексе необходим специализированный программный продукт, который учитывал бы все необходимые требования.

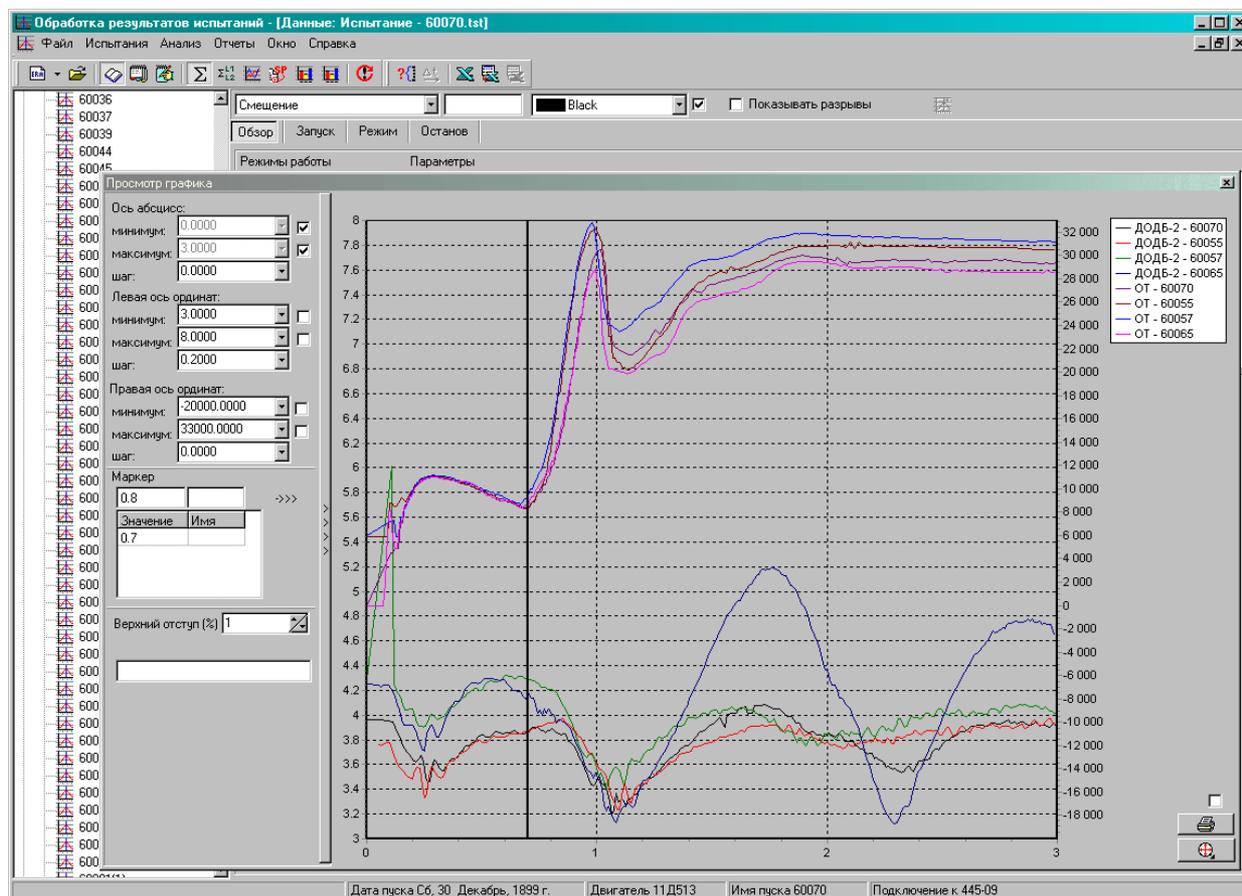
Для разработки была использована среда программирования Delphi 6. Все математические библиотеки создавались с помощью пакета Fortran Power Station.

Основные преимущества и характеристики программного комплекса:

- не привязывается к конкретной системе измерений и регистрации;

- позволяет обрабатывать и анализировать большие объемы информации (более 700 Мб в бинарном виде на одно испытание); внедрен и реально эксплуатируется на предприятии в течение двух с половиной лет; имеет широкие возможности для вторичной обработки данных;
- построен на архитектуре Клиент-сервер;

- доступ к информации осуществляется из локальной сети с разграничением прав доступа по пользователям;
- быстрое представление требуемой информации в графическом и печатном виде;
- поиск испытаний в базе данных по заданным критериям через SQL запросы;



Рассмотрим подробнее, что собой представляет каждый из вышеперечисленных пунктов.

В ходе проведения испытаний ЖРД данные от системы измерения и регистрации могут поступать в различных форматах, например, бинарном, текстовом либо каком-нибудь другом специализированном формате. Соответственно, это затрудняет анализ и сопоставление между собой информации. Нами эта проблема была решена следующим образом. Для хранения результатов испытаний в базе данных был разработан специальный формат файла. Данные, получаемые от системы регистрации, конвертируются в этот файл, с которым в последующем осуществляются все операции. В результате каждое испытание представляется в виде одного унифицированного файла в базе

данных. Конвертер может быть усовершенствован для распознавания других форматов данных.

Иногда результатами регистрации могут оказаться большие объемы данных (свыше 700 Мб в бинарном виде на одно испытание), например при регистрации вибраций или пульсаций. За счет использования внутреннего сжатия, после переработки эти данные существенно уменьшаются в размере, что делает их более удобными для хранения в базе данных и снижает нагрузку на локальную сеть при доступе пользователей к этим файлам.

Программный комплекс построен на архитектуре клиент-сервер, что позволяет вынести серверную часть на надежный защищенный сервер, где будут храниться все данные, получаемые от системы реги-

страции. Также, за счет такой архитектуры снижается нагрузка на компьютеры пользователей, т.к. часть решаемых задач переносится на сервер. Доступ к информации осуществляется из локальной сети с ограничением прав доступа по пользователям. Как следствие, несколько человек одновременно могут просматривать либо редактировать (при наличии соответствующих прав) находящиеся на сервере данные.

Вся информация по испытаниям может быть оперативно представлена в графическом виде, при этом на одном графике можно изобразить любое количество совмещенных между собой параметров, можно сопоставлять параметры разных испытаний, что очень важно для получения обзорных графиков одного параметра. Для выделения требуемой группы испытаний можно сформировать запрос по указанным критериям. Например, запрос по испытаниям, прошедшим в прошлом году, при заданном давлении окислителя на входе.

Для вторичной обработки данных программный комплекс позволяет: осуществлять фильтрацию сигнала; проводить статистический анализ заданной выборки; строить многомерные регрессионные зависимости между параметрами; получать производные параметры по заданной формуле; рассчитывать среднее и интеграл выбранного параметра в заданных диапазонах. Программно решен вопрос автоматического определения параметров запуска ЖРД (определение моментов воспламенения в газогенераторе, камере сгорания, выхода на режим и др.).

В настоящее время с помощью пакета по обработке результатов испытаний в ГКБЮ решается целый ряд задач, таких как:

- анализ временных характеристик переходных процессов;
- регрессионная оценка режимов работы турбонасосного агрегата;
- регрессионная оценка влияния внешних факторов на режимы работы двигателя;
- оценка статистических распределений параметров по различным испытаниям;

— создание отчетной документации в виде графиков и таблиц.

В ГКБЮ программный комплекс для автоматизированной обработки, сбора и анализа результатов испытаний ЖРД эксплуатируется на протяжении 3-х лет, использовался при отработке форсированного варианта маршевого двигателя 2-й ступени РН «Зенит-3SL», когда требовалось обрабатывать большое количество параметров, применялся для анализа динамических процессов при отработке останова рулевого двигателя 2-й ступени по выработке компонента топлива в рамках программы Sea Launch. Этот программный комплекс может быть использован не только для анализа результатов испытаний ЖРД, но и любых других агрегатов, узлов авиационно-космической техники. Имеется опыт использования программного комплекса на родственных предприятиях.

За время эксплуатации программный комплекс постоянно модернизировался в соответствии с возникавшими в процессе использования требованиями: совершенствовался математический аппарат, улучшался пользовательский интерфейс, добавлялись новые возможности для анализа данных. По опыту эксплуатации в ГКБЮ использование программного комплекса позволяет на порядок сократить время анализа результатов испытаний, создания отчетной документации.

### Литература

1. Луарсабов К.А., Пронь Л.В., Сердюк А.В. Летные испытания ЖРД.- М.: Машиностроение, 1977.- 142 с.
2. Основы испытаний летательных аппаратов / Под ред. Е.И. Кринецкого.- М.: «Машиностроение», 1989.- 168 с.
3. Летные испытания ракет и КА / Под ред. Е.И. Кринецкого.- М.: Машиностроение, 1979.- 218 с.

*Поступила в редакцию 16.05.03*

**Рецензенты:** проф., зав. каф. двигателестроения Л.В. Пронь, ДНУ, г. Днепропетровск; канд. техн. наук, вед. науч. сотр. Я.Н. Иванов, ГKB «Южное», г. Днепропетровск.