

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу

Бачурина Александра Борисовича

на тему «Гидроавтоматика регулируемой двигательной установки (разработка и исследование)», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.13 – Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты

Диссертация изложена на 145 страницах машинописного текста. Она состоит из общей характеристики, четырех глав, основных выводов, списка литературы. В работе содержится 80 иллюстраций, 7 таблиц. Библиографический список включает 110 наименований. Основные положения диссертации изложены в 5 изданиях, рекомендованных ВАК, и 19 других изданиях.

### **Актуальность темы исследования**

В настоящее время стоит острая необходимость совершенствования электрогидравлических систем регулируемой двигательной установки, что позволило бы выйти на качественно новый уровень развития ракетно-космической техники. На сегодняшний день для ракетно-космической техники приоритетными темами исследования являются уже не проблемы дальности и максимального удельного импульса, а вопросы точности наведения головных частей, выполнения орбитального маневра. Гарантией требуемой точности является наличие на головной части ракеты корректирующей двигательной установки или нескольких установок, выполняющих различные задачи. Добиться необходимой точности управления по заданной программе изменения модуля тяги двигательной установки без эффективной системы гидроавтоматики практически невозможно.

Над созданием двигательных установок с глубоким регулированием модуля тяги, оснащенных электрогидравлической системой управления работали многие научные и проектно – конструкторские организации.

Результатом этих работ явилось создание опытных конструкций, прошедших стендовую отработку, но, к сожалению, все они имели ограниченные возможности, как по глубине изменения тяги, так и по характеристикам переходных процессов.

Таким образом, проблема разработки электрогидравлической системы регулируемой двигательной установки с учетом взаимного влияния гидроагрегатов через объект регулирования, несомненно, является актуальной. Интерес со стороны государства в возобновлении научных исследований по данной тематике и успешное выполнение научно-исследовательских грантов яркое тому подтверждение.

Этим определяется важность разработки и исследования электрогидравлической системы управления регулируемой двигательной установки, что позволяет сделать вывод об актуальности диссертационной работы Бачурина А.Б. по специальности 05.04.13 – «Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты».

#### **Методика исследования**

Теоретические и экспериментальные исследования опираются на основы технической гидромеханики. В работе применены численные методы, методы дифференциального и интегрального исчисления и верификации математических моделей на основе результатов экспериментальных исследований. Численные исследования проводились с помощью компьютерных пакетов MS Excel и Maple. Опытная проверка результатов математических моделей проходила на автоматизированных стендах учебного научного инновационного центра «Гидропневмоавтоматика».

#### **Научная новизна**

В работе достигнуты следующие научные результаты:

– математическая модель электрогидравлической системы управления регулируемой двигательной установкой (РДУ), заключающаяся в моделировании статических и динамических характеристик устройств

гидроавтоматики, входящих в состав РДУ, позволяющая обеспечивать при разработке необходимые требования к качеству переходных процессов;

– методика моделирования процессов в электрогидравлической системе РДУ, включающая этапы моделирования, исследования и прогнозирования параметров и характеристик устройств гидроавтоматики РДУ, позволяющая повысить качество проектирования и сократить сроки доводки.

– результаты численного моделирования, которые показывают, что с применением электрогидравлической системы управления время переходного процесса сократилось в 2,5 раза, время первого выхода на режим сократилось в 4 раза, статическая ошибка находится в пределах 5 %. Экспериментальное исследование гидроагрегатов показывает расхождение результатов численного моделирования и экспериментальных данных не более 5 %, что говорит о правильности методики моделирования рабочих процессов электрогидравлической системы управления РДУ.

#### **Степень обоснованности и достоверности полученных результатов**

Проведенный аналитический обзор научной литературы и патентной документации является полным и содержательным. Работа содержит достаточное количество литературных источников: 110 наименований.

Новые научные результаты, полученные в диссертационной работе, подтверждаются корректным использованием общепринятых методов исследования гидравлических машин, использованием признанных научных положений, апробированных методов исследования, применением математического аппарата, отвечающего современному уровню, обработкой, обобщением и сравнением результатов экспериментальных исследований с результатами теоретических исследований, апробацией основных положений работы в научных публикациях автора и на научно-технических конференциях.

#### **Теоретическая и практическая значимость полученных результатов**

Теоретическая значимость состоит в том, что разработанная методика расчета гидроавтоматики для управления регулируемой двигательной установкой позволяет исследовать устойчивость, точность и быстродействие

установки с учетом действующих на нее управляющих и возмущающих воздействий. Разработанный комплекс прикладных программ позволяет проводить численное исследование имитационных моделей гидравлических устройств автоматики регулирования двигательной установки и сравнивать полученные результаты с экспериментальными данными.

Практическая значимость состоит в том, что разработанная система гидроавтоматики регулируемой двигательной установки позволяет значительно сократить время переходного процесса с одного режима работы на другой и повысить точность управления. Разработанная методика позволяет реализовать идею замены огневых стендовых испытаний регулируемых двигательных установок математическим моделированием на ЭВМ. Результаты исследований в виде методики моделирования процессов в электрогидравлической системе управления энергетических установок внедрена на ОАО УАП «Гидравлика».

Результаты исследования внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВПО «УГАТУ» по подготовке магистров направления 141100 – Энергомашиностроение при проведении аудиторных занятий по дисциплинам «Математическое моделирование переходных процессов в системах гидравлических и пневматических приводов» и «Современные системы гидравлических и пневматических приводов».

Основные теоретические положения и практические результаты работы докладывались и обсуждались на 5 всероссийских и 3 международных научно-технических конференциях. Материалы диссертации вошли в отчеты по грантам по направлению «Ракетостроение» в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 гг.

#### **Уровень опубликованности и соответствие содержания автореферата диссертации**

Основные результаты диссертации представлены в 24 работах, в том числе 5-ти статьях из списка рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК. Диссертантом получен патент РФ. Эти публикации достаточно полно

раскрывают научные результаты диссертации и свидетельствуют о высоком уровне апробации. Автореферат диссертации соответствует содержанию диссертационной работы.

### **Критические замечания**

1. При моделировании электрогидравлической системы регулируемой двигательной установки автор отмечает, что структура математической модели включает в себя модели гидравлической машины для регулирования минимального сечения сопла (стр. 67, рис.3.2 диссертации) и гидроагрегата регулирования расхода жидкости для управления площадью поверхности горения твердого топлива (стр. 75, рис. 3.13 диссертации). Далее автор для каждой подсистемы составляет расчетную схему (рис. 3.1 и рис 3.12 диссертации) и записывает системы уравнений (3.5 и 3.10 диссертации).

Расчетные схемы фактически представляют собой фрагменты принципиальной гидравлической схемы регулируемой двигательной установки. Целесообразно было бы изобразить одну расчетную схему включающую две исследуемые подсистемы, а затем исходную систему уравнений. При этом следовало сначала обосновать допущения, в рамках которых записанные автором уравнения являются применимыми.

2. Расчет характеристик гидроавтоматики двигательной установки выполняется при постоянном коэффициенте расхода дросселирующей щели клапана постоянного перепада давления  $\mu_k = 0,71$  (Таблица 2, стр. 79 диссертации), постоянном коэффициенте расхода струйной гидравлической машины для регулирования минимального сечения сопла  $\mu_{qm} = 0,65$  (Таблица 1, стр. 70 диссертации), а также при постоянном коэффициенте, учитывающем силу вязкости в гидроцилиндрах  $b_{vk} = 0,01$ . Но коэффициент расхода, в зависимости от числа Рейнольдса, может изменяться в широком диапазоне, а коэффициент  $b_{vk}$  в значительной степени определяется родом жидкости, ее вязкостью, состоянием поверхности и т.д. Принятые для расчета характеристик электрогидравлической системы управления значения следует обосновать.

3. Автор именует коэффициент расхода щели золотникового распределителя коэффициентом расхода жидкости, что неверно. Жидкость наделена свойствами: плотностью, вязкостью, теплопроводностью и др., коэффициент расхода характеризует пропускную способность устройств для истечения жидкости.

4. Диссертант в математической модели использует уравнение состояния Клапейрона-Менделеева (стр. 43 диссертации) без соответствующего обоснования его применимости.

5. В диссертации недостаточно четко представлено описание систем уравнений (2.42), (3.5) и (3.10). Это усложняет восприятие материала диссертации. На мой взгляд, необходимо было представить подробное описание одной системы уравнений, учитывающей все исследуемые явления.

6. Затруднено чтение рисунков в автореферате диссертации в связи с их малым размером.

### **Заключение**

Несмотря на указанные выше замечания, диссертационная работа Бачурина А.Б. является законченной научно-квалификационной работой, которая имеет существенное значение в области применения гидравлических машин и гидроагрегатов для развития ракетно-космической техники.

Полученные научные результаты можно охарактеризовать как научно обоснованные теоретические положения и практические разработки, обеспечивающие решение актуальной научной задачи совершенствования технических средств для улучшения качества переходных процессов в электрогидравлической системе управления регулируемой двигательной установки. Решение данной задачи имеет важное значение, так как применение гидроагрегатов позволяет значительно сократить время переходного процесса с одного режима работы на другой и повысить точность управления регулируемых двигательных установок.

С учетом вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что диссертация Бачурина А.Б. соответствует критериям, установленным положением о порядке

присуждения ученых степеней. Диссертация удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 05.04.13 – Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты. Работа соответствует пунктам 1, 2, 3, 5 паспорта специальности 05.04.13

Автор диссертации Бачурин Александр Борисович, обладает достаточной научной квалификацией и заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент,

доктор технических наук, профессор

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

заведующий кафедрой гидравлики

Адрес: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д.19



Носков А.С.

Подпись  
заверяю

