

УДК 621.951.47

С.И. ПЛАНКОВСКИЙ<sup>1</sup>, О.В. ШИПУЛЬ<sup>1</sup>, В.Г. КОЗЛОВ<sup>2</sup>, О.С. БОРИСОВА<sup>2</sup><sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*<sup>2</sup> *ОАО «Мотор Сич», Запорожье, Украина***ЗАДАЧИ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ЖИДКОСТНОГО ТРАКТА ПЕРСПЕКТИВНЫХ АВИАЦИОННЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*Проведен анализ тенденций развития авиационных гидравлических систем. На основе требований промышленной чистоты и герметичности сформулированы задачи финишной обработки деталей жидкостного тракта. Показано, что задача очистки внутренних полостей деталей и агрегатов жидкостного тракта гидравлической системы может быть решена за счет совместного применения методов термоимпульсной обработки детонирующими газовыми смесями и промывки. Для обработки герметизирующих поверхностей типа "металл-металл" обосновано совместное применение термоимпульсной обработки с магнитоабразивной или электрохимической обработкой. Сформулированы задачи для дальнейших исследований технологии термоимпульсной финишной обработки деталей авиационных гидравлических систем.*

**Ключевые слова:** авиационная гидравлическая система, промышленная чистота, финишная обработка, термоимпульсный метод.

**Введение**

Гидравлическая система самолета обеспечивает управление системами и механизмами, определяющими безопасность полета. Ее надежность, живучесть и долговечность достигается совершенством конструкции агрегатов, многократным резервированием, как источника энергии, так и гидроприводов, автоматизацией управления, контроля работы и информации экипажа.

Самолёт должен быть спроектирован и построен так, чтобы в условиях эксплуатации при действиях экипажа каждое отказное состояние, приводящее к возникновению катастрофической ситуации, оценивалось как практически невероятное событие (вероятность менее  $10^{-9}$ ) и не возникало вследствие единичного отказа одного из элементов системы. Суммарная вероятность возникновения аварийной ситуации, вызванной функциональными отказами для самолёта в целом, не должна превышать  $10^{-6}$  на час полёта [1].

Задача обеспечения таких высоких требований осложняется сложностью современных гидравлических систем. Так, например, гидравлическая система самолета ХВ-70 содержит 12 насосов, 129 исполнительных устройств, 170 клапанов. Общий объем гидросистемы 830 л, протяженность трубопроводных коммуникаций более 1600 м. Трубопроводы системы имеют 3900 соединений [2].

Большое количество соединительных узлов трубопроводов увеличивает вероятность возникновения неисправностей и отказов. В работе [3] отме-

чено, что при эксплуатации гидравлических систем самолетов число отказов, связанных с потерей герметичности составляет до 2/3 числа отказов всех авиационных систем. Около 60% выходов из строя узлов ракетных двигателей связаны с уплотнениями агрегатов [4]. По данным эксплуатирующих фирм ВВС США, из общего числа отказов до 50...60% приходится на гидродвигательную систему.

Несмотря на значительное число факторов, влияющих на ресурс и надежность прецизионных пар агрегатов ЛА, в качестве основного большинство авторов указывает степень чистоты рабочих жидкостей [5, 6]. На этапе производства это связано с качественной финишной обработкой – очисткой кромок и поверхностей деталей от заусенцев, микрочастиц, удаления наиболее быстро изнашиваемой части шероховатости.

До настоящего времени комплексу этих вопросов уделяется недостаточное внимание в практике отечественных производств.

Поэтому целью настоящей работы был анализ тенденций развития авиационных гидравлических систем и формирование задач финишной обработки входящих в них деталей и узлов с учетом требований ресурса и надежности.

**Тенденции развития авиационных гидравлических систем**

Развитие авиационных гидросистем характеризуется непрерывным ростом потребляемой мощности и массы при примерно одинаковых размерах

ЛА. Эта проблема приобрела критическое значение уже в 70-е годы прошлого века при проектировании самолетов 4-го поколения. Отборы мощности от авиадвигателя для централизованной гидросистемы на управление рулевыми поверхностями приобрели критическое значение (на некоторых режимах полета до 20%) и стали серьезно влиять на дальность полета, безопасность и экономичность.

Достижения в областях микропроцессорной техники, силовой электроники и магнитных материалов позволяют кардинально перестроить функциональные системы ЛА и использовать электрическую энергию в качестве единого вида вспомогательной энергии на борту. Уже в 70-80-е годы XX в. такие возможности прогнозировались ведущими отечественными и зарубежными авиационными фирмами и специалистами [7]. Тогда же в зарубежной литературе появилась и соответствующая терминология: All Electric Aircraft (АЕА – полностью электрифицированный самолет).

АЕА понимается как самолет с единой системой вспомогательной энергии, в качестве которой используется система электроснабжения. Предполагалось, что такой самолет будет использовать электромеханические приводы системы управления, что позволит полностью отказаться от применения на борту ЛА гидравлических систем.

Исследования, проведенные в 1980-х годах показали, что АЕА реализуем на базе существующих технологий, но такая радикальная перемена была признана преждевременной для авиакосмической промышленности. Главным образом такое заключение было сделано из-за сомнений в возможности создания электромеханических приводов требуемого уровня надежности. В электромеханических рулевых приводах с механическим редуктором при отсутствии увеличения зазора за время эксплуатации, имеется риск заклинивания деталей.

Поэтому для самолетов ближайшей перспективы (10...15 лет) более приемлемым является привод электропривод с гидростатической передачей. Показатели износа и безотказности гидроцилиндров рулевых приводов хорошо известны и могут прогнозироваться. Электропривод с механической передачей более подходит для ракет, в которых требуется обеспечить длительное время хранения системы при сравнительно малых ресурсах.

Поэтому вместо реализации концепции АЕА в качестве основной ведущими авиационными производителями была принята стратегия постепенного перехода на электрические системы, сформированная в виде концепции More Electric Aircraft (МЕА – более электрифицированный самолет).

В этом подходе предполагается использование комбинированных систем управления, содержащих

как электрическую, так и гидравлическую компоненту. Кроме того, предполагается постепенный переход к использованию устройств с электрическим приводом в системах самолета: кондиционирования, противообледенительной и др.

Работы в данной области были признаны приоритетными для научно-исследовательских программ Европейского союза. За период с 2002 года было реализовано несколько проектов на основе концепции МЕА. Аналогичные исследования проводились в США. В результате появились ЛА с повышенным уровнем электрификации: пассажирские – А380 и Boeing 787, истребитель F-35, беспилотный ЛА «Барракуда» и др. на которых реализованы многие положения концепции МЕА.

Благодаря реализации идей МЕА в самолёте А380 удалось уменьшить количество централизованных гидросистем до 2-х вместо 4-х, требуемых для самолётов такого класса. Масса самолёта уменьшилась на 1500 кг. Такого результата во многом удалось добиться благодаря использованию нового типа приводов.

Создание электрогидростатических приводов (Electrical Hydrostatic Actuator - ЕНА) стало одним первых достижений инициативы МЕА. Этот привод является гидравлическим, однако его гидравлическая часть является автономной и герметизируется встроенным электродвигателем, обеспечивающим перемещение привода (рис. 1). Для работы привода требуется высокое давление (35 МПа для самолета А380), которое постоянно поддерживается в ходе эксплуатации [8]. Такой привод является переходным от гидравлического к электромеханическому, хотя этот гибридный подход имеет ряд преимуществ:

- гидростатические приводы могут иметь очень большую удельную мощность, увеличивающуюся при росте давления жидкости;
- применение ЕНА позволяет значительно сократить массу гидросистемы за счет устранения гидронасосов, гидроагрегатов и трубопроводов;
- отказ силового цилиндра делает невозможным его воздействие на рулевые поверхности, что упрощает управление при использовании резервирования.

Другим типом современных электрогидравлических приводов является привод с резервной электросистемой (Electric Backup Hydraulic Actuator – ЕВНА), использующий в качестве основного источника энергии централизованную гидросистему. Привод использует электронную систему в качестве источника управляющего сигнала и имеет электронасос, который применяется в случае отказа гидравлической системы. В этом случае система герметизируется, и привод может работать автономно по схеме ЕНА (рис. 2).

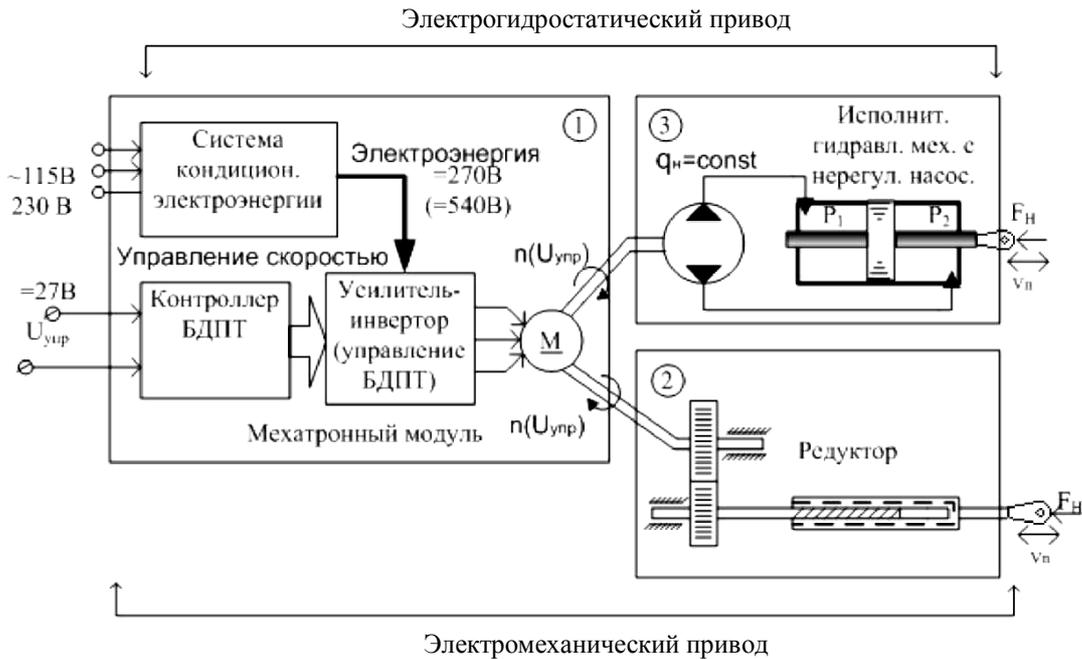


Рис. 1. Структурная схема привода с механической и гидростатической передачами:  $V_n$  - скорость выходного звена; БДПТ – бесколлекторный двигатель постоянного тока;  $F_n$  - нагрузка

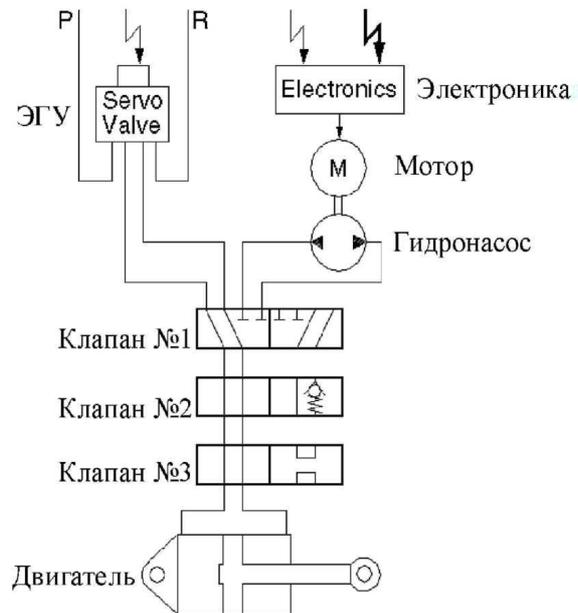


Рис. 2. Схема комбинированного электрогидравлического привода для управления интерцепторами самолёта А380: P, R — давление подачи и слива

Привод имеет встроенные в него электрогидравлические клапана. Клапан №1 – клапан переключения гидравлического энергетического канала на резервный электрический канал; клапан №2 – предназначен для блокировки гидроцилиндра; клапан №3 – технологический. Такие приводы выполняются конструктивно в одном блоке, объединяющем

гидравлические и электронные компоненты. На самолёте А-400 предполагается применение таких приводов для всех рулевых поверхностей.

При эксплуатации гидравлических систем чистота рабочих жидкостей обеспечивается встроенными фильтрами. Однако переход к электрогидравлическим системам с локальными автономными

гидравлическими системами высокого давления существенно усложняет применение фильтров, так как такие системы являются практически безрасходными. Для таких систем основное значение для обеспечения требуемой чистоты рабочих жидкостей приобретает исходная чистота гидроагрегатов и узлов гидравлической системы.

Кроме того, высокое давление в таких системах (от 35 МПа в современных до 70 МПа в проектируемых самолетах) делает особо актуальной задачей обеспечение герметичности подвижных и неподвижных уплотнений. Обе эти задачи должны решаться на этапе финишной обработки деталей гидравлической системы.

### Задачи финишной обработки деталей перспективных авиационных гидросистем

Для обоснованного формирования требований по финишной обработке деталей авиационных гидравлических систем рассмотрим по отдельности требования промышленной чистоты и требования герметичности.

Необходимая для надежной работы авиационных гидросистем чистота рабочей жидкости определяется величиной критических зазоров или толщиной смазочной пленки компонентов. Величина этих зазоров составляет от 0,5...5 мкм для шестеренчатых насосов до десятков микрон для сервоклапанов.

Целый ряд исследований, проведенных Министерством обороны Великобритании, корпорацией «Westland Helicopter», Имперским колледжем позволили разработать упрощенные рекомендации по выбору класса чистоты рабочих жидкостей по ISO 4406, необходимого для различных систем (табл. 1).

Критериями для выбора класса чистоты рабочих жидкостей являются:

1. Ключевое оборудование, требующее высокой степени надежности.

2. Оборудование с высоким давлением, работающее на пределе прочности.

3. Оборудование, рассчитанное на длительный срок эксплуатации.

4. Оборудование с очень высокими затратами по поддержанию его в исправности при внезапном выходе из строя.

Требования к чистоте рабочей жидкости определяются как: очень высокие, если действуют все критерии; высокие, если действуют три из перечисленных критериев; нормальные, если действуют два или меньше критериев.

Согласно приведенным критериям требования по чистоте рабочих жидкостей авиационных гидросистем определяются как очень высокие. При определении требований к чистоте конкретных авиационных гидросистем необходимо учитывать их конструктивные особенности. В золотниковых распределителях гидравлических усилителей БУ-10 при наличии в рабочей жидкости частиц размером 2...5 мкм (в количестве 0,5 мг/дм<sup>3</sup>) усилие страгивания плунжера возрастает в 5 и более раз по сравнению с работой на незагрязненной жидкости. В присутствии такого же количества частиц размером 7...13 мкм – в два раза. Частицы с размерами 20...100 мкм практически не влияли на работу устройства [7].

Для распределителей других марок (ГА-49, ГА-13) критический размер частиц составляет 7-13 мкм; при наличии в рабочей жидкости таких частиц усилие страгивания плунжера увеличивается в 7-8 раз и иногда плунжер даже заклинивается. В то же время более мелкие частицы (размером до 3 мкм) не оказывают существенного влияния на работу распределителя.

Исследования, проведенные с насосами авиационных гидравлических систем, показали, что их объемный коэффициент полезного действия наиболее снижается при наличии в рабочей жидкости частиц размером 20-30 мкм.

Таблица 1

Минимальные требования к чистоте рабочих жидкостей гидросистем по ISO 4406

| Виды систем  | Требования    |          |            |
|--|---------------|----------|------------|
|  | Очень высокие | Высокие  | Нормальные |
| Сервотехника, шарикоподшипники   | 13/10/7       | 16/13/10 | 17/14/11   |
| Пропорциональная техника, гидравлика высокого давления ( $P > 16$ МПа) | 15/12/9       | 18/15/12 | 19/16/13   |
| Гидравлика среднего и низкого давления ( $P < 16$ МПа)                 | 16/13/10      | 19/16/13 | 20/17/14   |

Увеличение загрязнения вследствие накопления множества мелких частиц ведет к зашламлению гидросистемы, что в свою очередь ухудшает свойства протекания, клапанов и гидрораспределителей. Под воздействием давления может образоваться конгломерат, который заклинивает компоненты. Следовательно, для увеличения ресурса прецизионных пар с поверхностями, образующих гидравлический тракт, всех входящих в гидросистему деталей необходимо удалять частицы таких размеров, которые превосходят толщину смазочной пленки. Для гидросистем самолетов это приводит к требованию удаления с поверхностей и кромок входящих деталей микроликвидов размером более 1 мкм.

Детали агрегатов авиационных гидросистем имеют целый ряд конструктивных особенностей, усложняющих их финишную очистку. Для них характерны [9]: глубокие отверстия малых диаметров (0,8...1,5 мм); пересекающиеся каналы с расточками и карманами; допуски на биение резьбы относительно отверстий – не более 0,05 мм; отклонение от геометрической формы прецизионных пар – 1...3 мкм; допуск на зазор в пределах 2...4 мкм; шероховатость от 3,2...0,8 мкм для соединительных каналов до 0,04 мкм для плунжерных и золотниковых пар и т.п.; использование высоколегированных сплавов и сталей.

Традиционные технологии очистки, применяющиеся на серийных заводах, основанные на проведении приработки агрегатов гидросистем в собранном виде с последующей переборкой, мойкой, дефектацией деталей и сменой рабочих жидкостей, трудоемки и не позволяют гарантировать выполнение растущих требований по чистоте гидросистем. Они не всегда позволяют удалять даже относительно

но крупные частицы загрязнений (10...30 мкм). наиболее опасные для гидравлических каналов.

Методы очистки от механических частиц, которые используются в микроэлектронике (табл. 2), позволяют удалять механические частицы даже субмикронного размера. Однако они не могут решить задачу очистки деталей гидравлических систем со сложной внутренней поверхностью.

Для решения этой задачи необходима разработка специальных технологий, учитывающих конструктивные особенности деталей, узлов и агрегатов гидравлических систем самолетов, в том числе – наличие внутренних каналов сложной формы. На сегодняшний день единственной технологией, которая соответствует требованиям к промышленной чистоте деталей перспективных авиационных гидросистем, является термоимпульсная очистка детонирующими газовыми смесями [10].

В этом случае инструментом является горючая газовая смесь, которая частично сгорает в режиме детонации. Основным механизмом очистки является срыв микрочастиц образующимися ударными волнами с последующим сгоранием или испарением [12]. Особенностью метода является высокая эффективность очистки внутренних полостей за счет многократного отражения ударных волн от стенок каналов.

С точки зрения надежности самыми проблемными частями гидравлических систем являются соединительные элементы трубопроводов. Это связано с большим объемом такого рода узлов в конструкции современных летательных аппаратов. Так, например, гидравлическая система самолета типа ХВ-70 содержит 12 насосов, 129 исполнительных устройств, 170 клапанов и 3900 соединений.

Таблица 2

Методы сухой очистки поверхности в микроэлектронике [11]

| Действие        | Метод                                   | Механизм удаления   |
|-----------------|---|---|
| Термическое     | Испарение                               | Загрязнения удаляются в процессе высокотемпературной обработки                          |
|                 | Ионное излучение                        | Обработка ускоренными ионами  |
|                 | Лазерное излучение                      | Нагревание поверхности лазером  |
|                 | Струя распыленного газа                 | Распыленный газ или молекулы сухого льда (криогенная обработка)                         |
| Химическое      | Обработка активным газом                | Удаление загрязнений, преобразованных в летучее соединение в результате газовой реакции |
|                 | Плазменный                              | Реакция с радикалами, генерированными в плазме  |
|                 | Воздействие ультрафиолетовым излучением | Реакция с радикалами, генерированными в газовой среде, активированной УФ                |
| Комбинированное | Реактивное напыление                    | Активные радикалы и ускоренные ионы   |

Большое количество соединительных узлов трубопроводов увеличивает вероятность возникновения неисправностей и отказов. При эксплуатации гидравлических систем самолетов число отказов, связанных с потерей герметичности составляет до 2/3 числа отказов всех авиационных систем [13].

До настоящего времени в соединениях трубопроводов гидравлических систем ЛА наиболее часто используются различного рода металл-металлические уплотнения. Герметичность таких соединений во многом определяется шероховатостью контактных поверхностей. Увеличение усилия затяжки, приводящее к повышению герметичности соединения, негативно сказывается на долговечности соединений трубопроводов, работающих в условиях высокого давления и вибраций, вызванных условиями полета.

В результате изнашивания происходит изменение формы контактирующих поверхностей соединительных элементов и параметров микрогеометрии, которое приводит к изменению контактной жесткости и величины микроканалов в стыке. Все это в конечном итоге приводит к изменению герметичности, причем, в зависимости от вида изнашивания, по-разному. Так, например, при многократном нагружении уплотнительных поверхностей без их относительного смещения происходит уменьшение утечки (до 30%), особенно в начальный период (при 3-4 циклах нагружения на 18..20%). При наличии смещения уплотнительных поверхностей (в условиях микрорезания) на десятом цикле нагружения герметичность увеличилась более чем на порядок, на двадцатом цикле - на четыре порядка [13].

Механизм приработки уплотнительных поверхностей, по сути, совпадает с классической схемой приработки поверхностей в результате износа с удалением быстроизнашиваемой части шероховатости. Таким образом, еще одной задачей финишной обработки деталей авиационных гидравлических систем должна быть отделка уплотнительных поверхностей с формированием на них требуемого профиля шероховатости.

Из существующих на сегодняшний день методов финишной отделки и очистки ни один не может полностью решить сформулированные выше задачи. Так, например, формирование требуемого микро-рельефа может обеспечить электрохимический, магнитоабразивный и термоимпульсный методы [15]. Поэтому создание технологических подсистем финишной отделки и очистки деталей перспективных гидравлических систем целесообразно вести на базе термоимпульсного газодетонационного метода, как обеспечивающего большую часть необходимых технологических операций.

## Выводы

1. Проанализированы тенденции развития авиационных гидравлических систем, в числе которых основной является переход к использованию электрогидравлических систем с локальными автономными сетями высокого давления. Для таких систем существенно возрастают требования чистоты поверхностей жидкостного тракта.

2. Основными задачами финишной обработки деталей перспективных авиационных гидравлических будут являться очистка поверхностей жидкостного тракта от микрочастиц и микроликвидов размером более 1 мкм с одновременным удалением быстроизнашиваемой части шероховатости с уплотнительных поверхностей и поверхностей пар трения. Без решения этих задач обеспечение их ресурса будет связано с большими трудностями.

3. До настоящего времени, технологии, которые бы полностью решали весь комплекс задач финишной очистки и отделки высокоточных деталей, отсутствуют. Их создание возможно на базе технологий термоимпульсной обработки детонирующими газовыми смесями в комбинации с методами электрохимической и магнитоабразивной обработки.

## Литература

1. *Авиационные правила, часть 25 [Текст]*. – М.: МАК, 2000. – 236 с.
2. *Беляев, Н.М. Пневмогидравлические системы [Текст] / Н.М. Беляев, Е.И. Уваров, Ю.М. Степанчук*. – М.: Высшая школа, 1988. – 271 с.
3. *Матвиенко, А.М. Проектирование гидравлических систем летательных аппаратов [Текст] / А.М. Матвиенко, И.И. Зверев*. – М.: Машиностроение, 1982. – 296 с.
4. *Чегодаев, Д.Е. Гидропневмотопливные агрегаты и их надежность [Текст] / Д.Е.Чегодаев, О.П. Мулюкин*. – Куйбышев: Кн. изд-во, 1990. – 104 с.
5. *Никитин, Г.А. Влияние загрязненности жидкости на надежность работы летательных аппаратов [Текст] / Г.А. Никитин, С.В. Чирков*. – М.: Транспорт, 1969. – 183 с.
6. *Тимиркеев, Р.Г. Количественные зависимости влияния параметров механических примесей на показатели надежности золотниковых агрегатов гидротопливных систем [Текст] / Р.Г. Тимиркеев, В.В.Плихунов, Н.Н. Губин // Авиационная промышленность*. – 2000. – №3. – С. 102-105.
7. *Брускин, Д.Э. Самолеты с полностью электрифицированным оборудованием. Сер. Электрооборудование транспорта*. – Т. 6 [Текст] / Д.Э. Брускин, С.И. Зубакин. – М.: ВИНТИ, 1986. – 108 с.
8. *Moir, I. Aircraft Systems: Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration, Third Edition*

[Текст] / Ian Moir, Allan Seabridge. – Chichester: John Wiley & Sons, 2008. – 366 p.

9. Жданов, А.А. Термоимпульсные технологии очистки поверхностных деталей агрегатов авиационных двигателей [Текст] / А.А. Жданов: Дис...канд. тех. наук: 05.07.04. – Харьков, 2003. – 120 с.

10. Планковский, С.И. Современное состояние и перспективы развития технологий финишной отделки прецизионных деталей летательных аппаратов [Текст] / С.И. Планковский, А.В. Лосев, О.В. Шипуль, О.С. Борисова // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2010. – № 2 (69). – С. 39 – 47.

11. Технологии структур кремний на изоляторе: Монография [Текст] / А.Л. Суворов и др. – М.: МИЭТ, 2011. – 407 с.

12. Дьяченко, А.Ю. Моделирование процесса термоимпульсной финишной очистки деталей гидросистем летательных аппаратов [Текст] / А.Ю. Дьяченко // *Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні. ІКТМ'2011: міжн. наук.-техн. конф.: тех. доп.* – Т.1. – Харьков, 2011. – С. 33.

13. Чегодаев, Д.Е. Гидропневмотопливные агрегаты и их надежность [Текст] / Д.Е. Чегодаев, О.П. Мулюкин. – Куйбышев: Кн. изд-во, 1990. – 104 с.

14. Gillespie, L. *Deburring and edge finishing handbook* [Текст] / L. Gillespie. – New York City: Industrial Press, 1999. – 404p.

Поступила в редакцию 31.05.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой А.И. Долматов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

### ЗАДАЧІ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ РІДИННОГО ТРАКТУ ПЕРСПЕКТИВНИХ АВІАЦІЙНИХ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ

*С.І. Планковський, О.В. Шипуль, В.Г. Козлов, О.С. Борисова*

Проведено аналіз тенденцій розвитку авіаційних гідравлічних систем. На основі вимог промислової чистоти і герметичності сформульовані завдання фінішної обробки деталей рідинного тракту. Показано, що задача очищення внутрішніх порожнин деталей і агрегатів рідинного тракту гідравлічної системи може бути вирішена за рахунок спільного застосування методів термоімпульсної обробки детонуючими газовими сумішами і промивання. Для обробки герметизуючих поверхонь типу "метал-метал" обґрунтовано спільне застосування термоімпульсної обробки з електроерозійною або електрохімічною обробкою. Сформульовано завдання для подальших досліджень технології термоімпульсної фінішної обробки деталей авіаційних гідравлічних систем

**Ключові слова:** авіаційна гідравлічна система, промислова чистота, фінішна обробка, термоімпульсний метод.

### TASKS OF FINISHING FLUID TRACT COMPONENTS OF PERSPECTIVE HYDRAULIC SYSTEMS

*S.I. Plankovskiy, O.V. Shipul, V.G. Kozlov, O.S. Borisova*

The analysis of the development trends of aircraft hydraulic systems is made. The problems of fluid tract components finishing are formulated based on the requirements of industrial purity and leak tightness. It is shown that the task of cleaning the internal cavities of aircraft hydraulic system parts and components can be solved by a combination of methods of thermal-pulse processing with using detonating gas mixtures and washing. To handle the pressurized surfaces of the type "metal-metal" it is sound combined using of thermal-pulse processing and electric discharge machining or electrochemical treatment. The problems for further research of thermal-pulse finishing of aircraft hydraulic systems are formulated.

**Keywords:** aircraft hydraulic systems, industrial purity, finishing, thermal-pulse method

**Планковский Сергей Игоревич** – доктор технических наук, профессор кафедры технологии производства летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: s.plank@khai.edu.

**Шипуль Ольга Владимировна** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии производства летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: o.shipul@khai.edu.

**Козлов Владислав Григорьевич** – начальник отдела, ОАО «Мотор Сич», Запорожье, Украина, e-mail: uzma@motorsich.com.

**Борисова Ольга Сергеевна** – кандидат технических наук, инженер-конструктор, ОАО «Мотор Сич», Запорожье, Украина, e-mail: b-o-s@ukr.net.