

УДК 621.951.47

С.И. ПЛАНКОВСКИЙ¹, О.В. ШИПУЛЬ¹, О.В. ТРИФОНОВ¹, В.Г. КОЗЛОВ²¹Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина²ОАО «Мотор Сич», Запорожье, Украина

СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕ В КАМЕРАХ ТЕРМОИМПУЛЬСНЫХ МАШИН ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ АГРЕГАТОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛА

Проведен анализ особенностей смесеобразования в камерах термоимпульсных машин при обработке деталей агрегатов ЛА. Задача смесеобразования рассмотрена как задача течения многокомпонентной газовой смеси. Для решения задачи используются интегрированные CAD/CAE-системы. На примере смесеобразования при обработке корпуса агрегата ГТД исследована степень однородности метано-воздушной смеси при последовательном и совместном наполнении камеры термоимпульсной машины. Показано, что при последовательном наполнении во внутренних полостях корпуса образуются зоны с концентрацией метана меньшей, чем предел воспламенения. Для дальнейшего применения в машинах термоимпульсной обработки деталей агрегатов ЛА рекомендовано использование наполнения заранее подготовленной смесью.

Ключевые слова: агрегаты ЛА, термоимпульсная обработка, смесеобразование, математическое моделирование, CAD/CAE-системы.

Введение

Обеспечение конкурентоспособности продукции отечественного машиностроения требует повышения ее качественных показателей до уровня, близкого к продукции ведущих мировых производителей. Анализ показывает, что этот уровень наряду с конструктивно-технологическими факторами определяется соблюдением требований промышленной чистоты выпускаемых изделий.

На этапе производства это связано с качественной очисткой кромок и поверхностей деталей от заусенцев, микрочастиц и других микроликвидов, которые определяют величину абразивного износа, а для высокоточных механизмов, таких как агрегаты двигателей ЛА, существенно влияют на надежность работы изделия в целом [1].

Учеными Национального аэрокосмического университета «ХАИ» в конце 80-х годов был разработан и прошел промышленную проверку термоимпульсный способ финишной очистки, который по качеству обработки не уступает лучшим из существующих на сегодня технологиям финишной обработки, а по технологическим возможностям даже превосходит их [2]. В ходе многочисленных экспериментальных исследований подтверждена эффективность данного метода и перспективность его развития [3, 4].

В ходе численного моделирования процессов смесеобразования в камерах импульсных машин было показано, что при последовательном наполне-

нии камеры компонентами смеси ее состав крайне неравномерен [5, 6]. Наибольшие отличия от стехиометрического состава наблюдались вблизи конструктивных элементов сложной формы – проточек, глухих отверстий, т.е. элементов, характерных для корпусных деталей агрегатов двигателей ЛА.

Однако имеющихся данных недостаточно для того, чтобы сделать окончательный выбор в пользу наполнения готовой смесью при термоимпульсной обработке деталей типа корпусных деталей агрегатов двигателей ЛА.

Поэтому целью настоящей работы была разработка метода оценки степени неоднородности топливной смеси вблизи обрабатываемых поверхностей деталей сложной формы и выработка на его основе рекомендаций по способу смесеобразования при термоимпульсной обработке.

Описание решаемой задачи и используемых математических моделей

Следуя [6] будем рассматривать процесс смесеобразования в камере термоимпульсной машины с установленной в ней деталью сложной формы. В качестве такой детали использован корпус агрегата двигателя ЛА. Корпус имеет сложную форму со множеством сквозных, пересекающихся и глухих отверстий (рис. 1). С точки зрения работоспособности агрегата наибольшее значение имеет качественная очистка внутренних полостей, поэтому основное внимание при оценке степени однородности

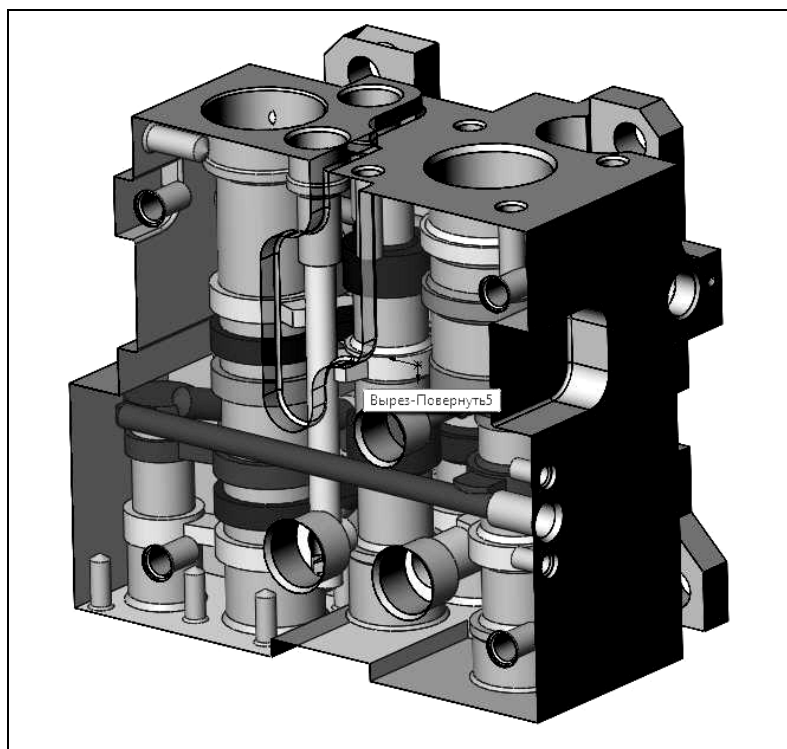
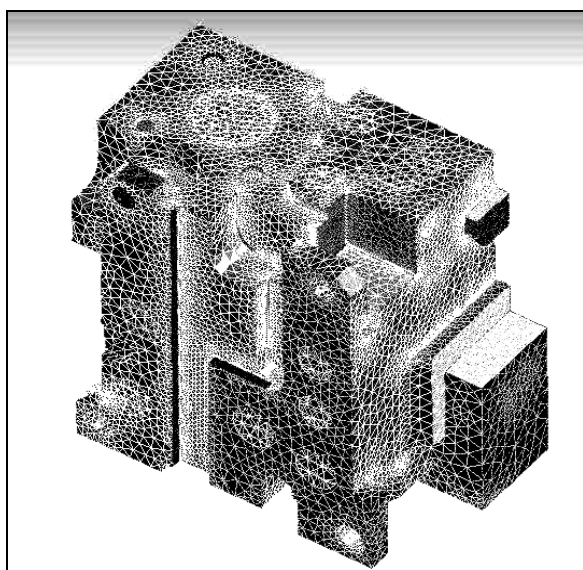
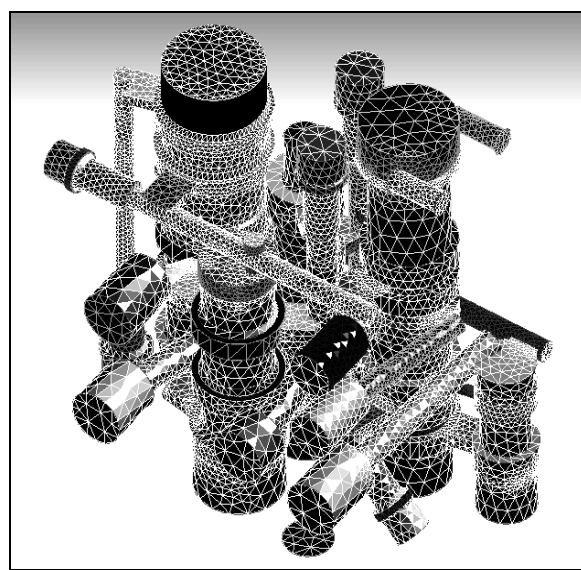


Рис. 1. Твёрдотельная модель корпуса агрегата двигателя ЛА



а



б

Рис. 2. Расчетная сетка конечных элементов: а – на корпусе агрегата ЛА; б – для внутреннего объема

топливной смеси было сконцентрировано на внутренних объемах. Поэтому при построении расчетной сетки внутренний объем корпуса был выделен в качестве отдельной подобласти (рис. 2).

Для исследования процессов смесеобразования использовалась описанная в [5, 6] модель, основанная на применении системы уравнений Навье – Стокса. Для анализа расслоения смеси на этапе выдержки перед зажиганием уравнения записывались с учетом действия силы тяжести. Для описания турбулентных течений применялось их осреднение по

Рейнольдсу с использованием SST модели турбулентности [7], показывающей высокую точность при моделировании пристеночных течений. Для определения фракционного состава топливной смеси система уравнений модели замыкалась уравнением концентрации.

При определении теплофизических свойств газов, т.е. зависимостей плотности, вязкости, теплопроводности, удельных теплоемкостей, коэффициентов диффузии компонент от температуры и концентрации компонентов, использованы уравнения

состояния, а также известные эмпирические и полупроэмпирические зависимости.

Благодаря использованию среды ANSYS Workbench при изменении позиции корпуса в камере сетка конечных элементов автоматически перестраивалась, что позволяло проводить расчеты с целью определения лучшего положения обрабатываемой детали на рабочем столе с точки зрения равномерности смеси.

Для оценки степени однородности смеси строилась функция распределения для массовой концентрации метана в камере, т.е. гистограмма, показывающая относительный объем внутренней области агрегата, в котором массовая концентрация метана находится в заданном диапазоне.

Анализ результатов моделирования

Моделирование производилось для двух способов наполнения: последовательного (подача метана - подача воздуха - выдержка) и совместного (подача готовой смеси со стехиометрическим соотношением компонентов - выдержка). Время выдержки в обоих случаях составляло 0,1 сек. На рис.3 приведены результаты моделирования смесеобразования

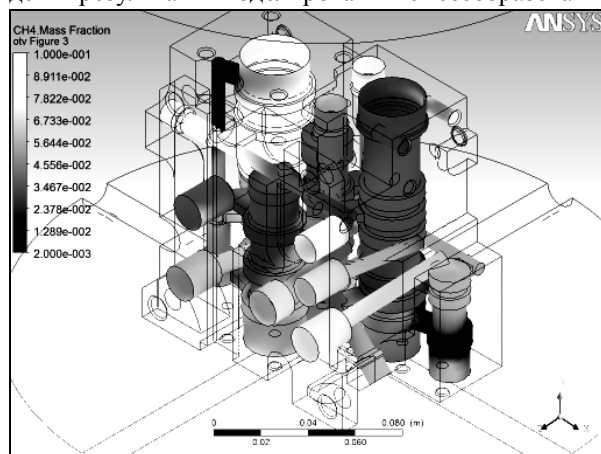
для случая последовательного наполнения. Результаты приведены для случая оптимального расположения корпуса на рабочем столе с точки зрения однородности смеси.

При таком способе наполнения во внутренних областях наблюдается значительный разброс значений массовой концентрации метана (от 0,2 до 9%). При этом образуются области с массовой концентрацией метана ниже предела воспламенения (3,2% для давления 0,1МПа).

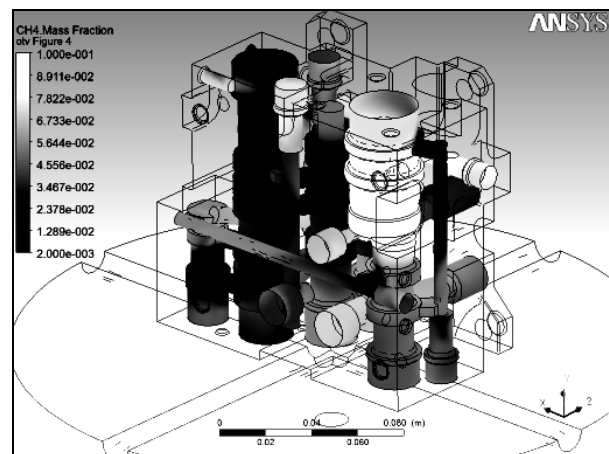
Несмотря на расширение предела воспламенения с ростом давления до 5% внутреннего объема будут заполнены смесью с недостаточной для горения концентрацией горючего.

Наличие зон с недостаточной концентрацией метана приведет к тому, что на этих поверхности детали будет воздействовать только импульс давления, и они практически не подвергнутся воздействию термического импульса. Поэтому гарантировать качественную очистку данных поверхностей от микроликвидов нельзя.

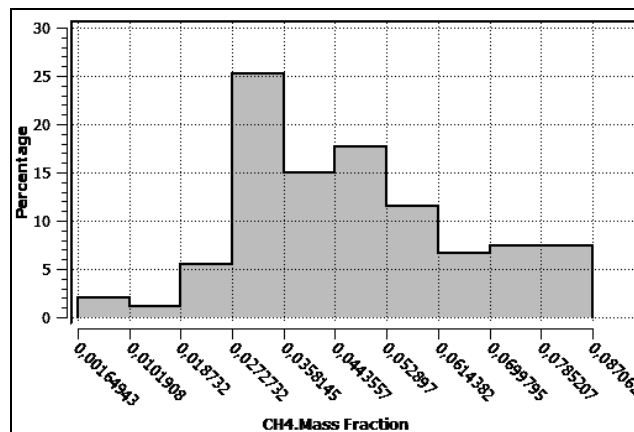
При совместном наполнении картина распределения массовой концентрации метана во внутренних полостях корпуса совершенно иная (рис. 4).



а



б



в

Рис. 3. Степень однородности смеси при последовательном наполнении: а, б – распределение массовой концентрации во внутренних полостях; в – функция распределения массовой концентрации

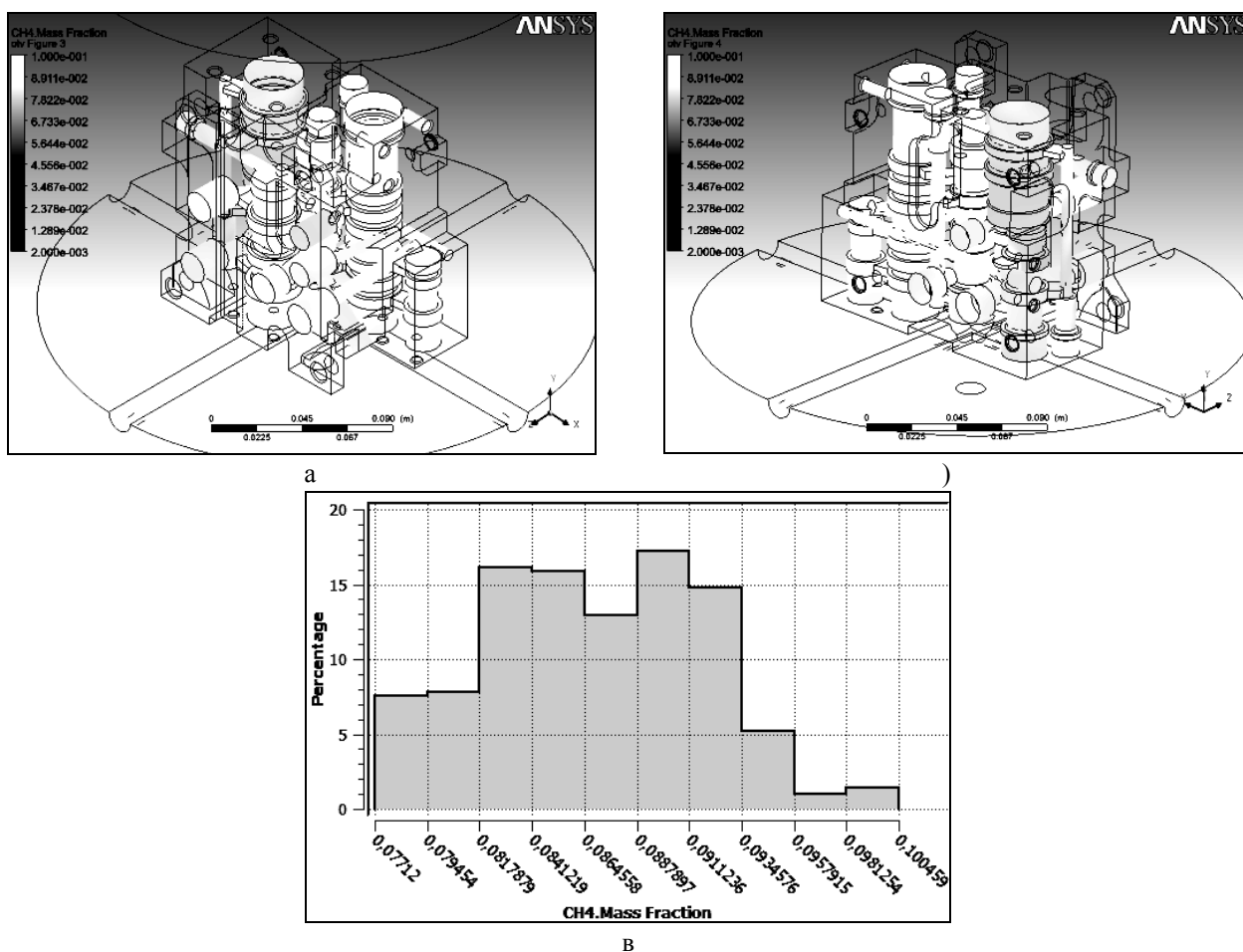


Рис. 4. Степень однородности смеси при совместном наполнении: а, б – распределение массовой концентрации во внутренних полостях; в – функция распределения массовой концентрации

Состав смеси практически однороден – разброс значений массовой концентрации метана находится в диапазоне 7,7...10%, что соответствует пределам воспламенения.

С учетом интенсивного перемешивания продуктов сгорания при прохождении ударных волн при такой степени однородности смеси можно утверждать, что условия обработки всех внутренних поверхностей корпуса будут практически идентичными.

Выводы

1. В результате моделирования процесса сме-сеобразования при последовательном наполнении камеры термоимпульсной машины с установленной на рабочем столе деталью сложной формы (корпус агрегата двигателя ЛА) установлено, что во внутренних полостях обрабатываемой детали присутствуют зоны с массовой концентрацией метана меньшей, чем пределы воспламенения (до 5% по объему).

2. При наполнении камеры готовой топливной смесью обеспечивается необходимая степень одно-

родности смеси для качественной термоимпульсной очистки всех внутренних поверхностей детали. Для дальнейшего использования при обработке деталей сложной формы следует рекомендовать смесеобразование по схеме совместного наполнения компонентами.

Литература

1. Gillespie L. *Deburring and edge finishing handbook* / L. Gillespie. – New York City: Industrial Press, 1999. – 404 p.
2. *Современное состояние и перспективы развития технологий финишной отделки прецизионных деталей летательных аппаратов* / С.И. Планковский, А.В. Лосев, О.В. Шипуль, О.С. Борисова // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2010. – № 2 (69). – С. 39-47.
3. Лосев А.В. *Повышение эффективности зачистки деталей пневматических и гидротопливных систем при использовании термоимпульсного метода: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08; защищена 14.05.1995; утв. 07.10.1995* / Лосев Алексей Васильевич. – X., 1995. – 210 с.

4. Жданов А.А. Термоимпульсные технологии очистки поверхностных деталей агрегатов авиационных двигателей: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.04; защищена 25.01.2003; утв. 12.03.2003 / Жданов Александр Андреевич. – Х., 2003. – 120 с.

5. Мазниченко С.А. Об особенностях смесеобразования в тепловых приводах импульсного оборудования / С.А. Мазниченко, С.И. Планковский,

О.С.Борисова // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2007. – № 7 (44). – С. 45-52.

6. Моделирование термоимпульсной обработки с учетом неоднородности топливной смеси / С.И. Планковский, О.В. Шипуль, О.В.Трифонов, О.С. Борисова // *Открытые информационные компьютерные технологии*. – 2010. – №3. – С. 37-47.

Поступила в редакцию 31.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой А.И. Долматов, Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

СУМІШОУТВОРЕННЯ В КАМЕРАХ ТЕРМОІМПУЛЬСНИХ МАШИН ПРИ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ АГРЕГАТІВ ДВИГУНІВ ЛА

С.І. Планковський, О.В. Шипуль, О.В. Трифонов, В.Г. Козлов

Проведено аналіз особливостей сумішоутворення в камерах термоімпульсних машин при обробці деталей агрегатів ЛА. Задача сумішоутворення розглянута як задача течії багатоконпонентної газової суміші. Для розв'язання задачі використовуються інтегровані САД/САЕ-системи. На прикладі сумішоутворення при обробці корпусу агрегату ГТД досліджено ступінь однорідності метано-повітряної суміші при послідовному та сумісному наповненні камери термоімпульсної машини. Показано, що при послідовному наповненні у внутрішніх порожнинах корпусу виникають зони з концентрацією метану нижчою, ніж межа загоряння. Для подальшого використання в машинах термоімпульсної обробки деталей агрегатів ЛА рекомендовано використання наповнення попередньо підготовленою сумішшю.

Ключові слова: агрегати ЛА, термоімпульсна обробка, сумішоутворення, математичне моделювання, САД/САЕ-системи.

THE MIXING IN CHAMBER OF THERMO-PULSE SYSTEM AT CLEARING OF ENGINE UNIT WORKPIECE

S.I. Plankovskyy, O.V. Shypul, O.V. Trifonov, V.G. Kozlov

The analysis of mixing features in chambers of thermo-pulse system at clearing of workpiece is carried out. The problem of mixing is considered as a problem of a current of a multicomponent gas mixture. For the problem decision the integrated CAD/CAE-systems are used. Uniformity degree of a methane-air mixture at consecutive and joint filling of the chamber of thermo-pulse system is investigated on an example mixing at clearing of the unit frame of gas turbine engine. It is shown that at consecutive filling in internal cavities of the unit frame zones are formed with concentration of methane smaller, than an ignition limit. For the further application in thermo-pulse system of clearing of aircraft unit workpiece use of filling by in advance prepared mixture is recommended.

Key words: aircraft unit, thermo-pulse clearing, mixing, mathematical modeling, CAD/CAE-systems.

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

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

Трифонов Олег Валерьевич – аспирант кафедры технологии производства летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: Kleiner-Rotor@yandex.ru.

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