

УДК 621.45.046.7+51-74

Компьютерное моделирование динамики системы инерционных клапанов маневренного летательного аппарата

Савенко Георгий Олегович^{1(*)}

sgo20v059@student.bmstu.ru

Иванов Михаил Юрьевич^{1,2}

vpk@vpk.npomash.ru

SPIN-код: 4220-1383

Реш Георгий Фридрихович²

vpk@vpk.npomash.ru

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия² АО «ВПК «НПО машиностроения», Реутов, Россия

Аннотация. В маневренных летательных аппаратах для отбора жидкости из бака и разделения фаз в условиях воздействия линейных перегрузок и вибраций применяются различные устройства, в том числе инерционные клапаны. Возможность прогнозирования их динамического поведения является актуальной задачей при разработке цифровых моделей гидравлических систем. Выполнено компьютерное моделирование нестационарного движения системы инерционных клапанов. Для создания компьютерной модели использовался язык программирования C++, а ее кросс-верификации — библиотека ProjectChrono. Результаты вычислительных экспериментов позволили выявить особенности функционирования таких динамических систем в условиях различных внешних воздействий.

Ключевые слова: инерционный клапан, система топливоподачи, математическое моделирование, контактное взаимодействие, летательный аппарат, зоны нечувствительности, цифровая модель

Введение. Рассмотрен прототип конструкции топливного бака летательного аппарата (ЛА), описанный в патенте Российской Федерации на изобретение № 2497724 [1]. Система отбора жидкости из бака включает три инерционных клапана, функционирование которых определяется перегрузками, воздействующими на ЛА. Особенности таких клапанов проявляются в наличии так называемых зон нечувствительности и характерного времени запаздывания срабатывания этих устройств. Пренебрежение указанными особенностями может привести к накоплению газа наддува в расходном отсеке, что является недопустимым с точки зрения обеспечения сплошности потока жидкости. В связи с этим, целью работы является создание компьютерной модели системы отбора жидкости на основе инерционных клапанов, позволяющей выполнять анализ поведения системы в условиях различного динамического внешнего нагружения.

Методы и материалы; результаты. Для формирования нестационарной математической модели с сосредоточенными параметрами составлены обыкновенные дифференциальные уравнения движения каждого элемента клапана с учетом начальных и граничных условий. Использована модель контактного взаимодействия, которая описывается силой Герца с гистерезисным демпфи-

рованием и силой сухого трения по закону Кулона [2]. Деформации элементов клапанов считались пренебрежимо малыми, а влияние потока жидкости при их обтекании определялось постоянным перепадом давления. Численное интегрирование системы уравнений выполнено неявным методом Эйлера. Значения неизвестных функций на текущем временном слое вычислялись с помощью схемы Ньютона — Рафсона. Компьютерная модель верифицирована на специальных тестовых примерах, в которых анализировалось движение каждого клапана в отдельности, использована библиотека мультифизического моделирования ProjectChrono [3]. Выполнена серия вычислительных экспериментов, в которых определено время запаздывания при срабатывании клапанов с различными значениями массы подвижных элементов, а также время проникновения газовой фазы в расходный отсек бака в условиях воздействия вибраций и пр. Компьютерная модель позволила провести эксперименты, которые в лабораторных условиях принципиально невозможны из-за сложности их реализации (например, создание околонулевых перегрузок).

Заключение. Разработанная компьютерная модель позволила выполнить диагностику возможных причин нештатного функционирования прототипа топливной системы и прогнозирование поведения системы инерционных клапанов, основываясь на особенностях управления ЛА. Результаты моделирования качественно соответствуют имеющимся экспериментальным данным.

Список источников

- [1] Никитин В.И., Куранов Е.Г., Реш Г.Ф. *Топливный бак летательного аппарата*. Патент № 2497724 С1 РФ, 2012, бюл. № 31.
- [2] Flores P., Ambrosio J., Claro J.C.P., Lankarani H.M. Influence of the contact-impact force model on the dynamic response of multi-body systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part K Journal of Multi-body Dynamics*, 2006, no. 220 (1), pp. 21–34. <https://doi.org/10.1243/146441906X77722>
- [3] Савенко Г.О., Говорченко А.В. Математическое моделирование динамики инерционного клапана топливной системы маневренного летательного аппарата. *Всерос. студ. конф., посв. 85-летию со дня рождения академика И.Б. Фёдорова: сб. докл.* Москва, ООО «Издательский дом «Научная библиотека», 2025, с. 10–11.