

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПТИЦЫ-УДАРНИКА ДЛЯ РАСЧЕТОВ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ ТУРБОРЕАКТИВНОГО ДВУХКОНТУРНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

**Ивченко Д.В.<sup>1</sup>, Сметанкина Н.В.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Государственное предприятие «Запорожское машиностроительное  
конструкторское бюро «Прогресс» имени академика А. Г. Ивченко,*

*г. Запорожье,*

*<sup>2</sup>Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины,  
г. Харьков*

Попадание стайных средних птиц массой 0,7...1,15 кг или одиночной крупной птицы массой 1,85...3,65 кг в турбореактивный двухконтурный двигатель (ТРДД) может вызвать сильное повреждение его деталей проточной части и привести к выключению ТРДД в полете и (или) опасным последствиям. Поэтому на этапе проектирования ТРДД перспективным является проведение расчетов повреждений его деталей, которое позволит разработать стойкую к повреждениям конструкцию ТРДД. Для этого требуется обоснованная модель птицы-ударника, которая способна адекватно воспроизводить ударные нагрузки при попадании реальной птицы.

Цель настоящей работы – математическое моделирование птицы-ударника.

Для построения математической модели птицы-ударника выбран цилиндр со скругленными торцами. Эта геометрическая форма достаточно близка к формам тушек птиц, которые применяют для проведения экспериментальных исследований удара птиц, в том числе испытаний ТРДД с забрасыванием птиц в проточную часть. Так как птица при ударном нагружении ведет себя подобно жидкости, то для ее моделирования использовалась гидродинамическая теория, «нулевой» NULL-материал и уравнение состояния, которое было задано при помощи линейного полинома.

Для численной (компьютерной) модели-ударника применялся бессеточный SPH-метод, предусматривающий дискретизацию расчетного объема набором частиц, что позволило моделировать большие деформации тела птицы в процессе удара. Для реализации численной модели птицы-ударника был разработан специальный APDL-макрос и командные файлы для явного динамического решателя LS-DYNASolver, входящего в программный комплекс ANSYSLS-DYNA.

Для проверки адекватности модели птицы-ударника была выполнена ее верификация и валидация. Для этого были проведены расчеты ударов средних и крупных птиц разных масс по стальной плите. Рассмотрены удары под прямым и острыми углами к плите.

Сравнение результатов расчетов с использованием разработанной модели птицы-ударника и одномерной гидродинамической теории (при верификации), с данными экспериментальных исследований (при валидации), показало их хорошее согласование. Модель птицы-ударника прошла верификацию и валидацию, что позволяет ее применять для расчетов повреждений деталей ТРДД.