

УДК 629.7.07

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ШУМА РЕАКТИВНОЙ СТРУИ НА КОРПУС ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ

М.В. Бухмастов, Р.В. Сидельников

Рассмотрен вопрос оценки влияния шума реактивной струи на корпус головной части ракеты-носителя, методы моделирования, используемые в ANSYS Fluent, и отмечен рациональный метод моделирования для решения данной задачи.

Ключевые слова: шум, ракета, источник шума, реактивная струя, методы моделирования, аэроакустика, турбулентность.

Как известно [1], ракета во время старта и полета подвергается вредным акустическим воздействиям. Самым уязвимым элементом конструкции РН к акустическим воздействиям является головной аэродинамический обтекатель (ГАО), где размещается командно-измерительный комплекс. Проходящее внутрь акустическое излучение высокого уровня – 150...160 дБ – существенно влияет на бортовую аппаратуру и командно-навигационные приборы. Таким образом, чтобы оценить степень риска ухудшения паспортных характеристик и тактико-технических характеристик ракет в целом, необходимо изучение причин появления шумов, их структуры и природы упругого взаимодействия с механическими системами.

Одним из основных источников шума является реактивная струя (рис. 1). Установлено, что наибольшей величины акустические нагрузки от шума реактивной струи достигают на Земле и во время старта РН (рис. 2).

В последние годы задачи расчёта шума, создаваемого реактивными струями, становятся все более актуальными в связи с необходимостью снижения уровня шума в ракетостроении и авиации.

Вследствие сложности детального моделирования процессов генерации шума турбулентностью до недавнего времени для решения задач такого рода использовались методы, основанные на эмпирических корреляциях и теории подобия. К сожалению, такие методы оказываются практически неприменимыми вне изученного экспериментального диапазона изменения режимных и геометрических параметров, а, следовательно, и для оценки новых конструкций, предлагаемых для снижения шума. Положение изменилось в конце 90-х годов XX века, когда, благодаря развитию компьютерной техники и совершенствованию вычислительных алгоритмов, стали развиваться новые подходы, свободные от эмпиризма (основанные на «первых» принципах аэродинамики и аэроакустики [2]), в рамках которых для моделирования генерации

шума применяются так называемые «вихреразрешающие» методы моделирования турбулентности – прямое численное моделирование (DNS), метод моделирования крупных вихрей (LES) и гибридные RANS/LES методы (DES, и др.).

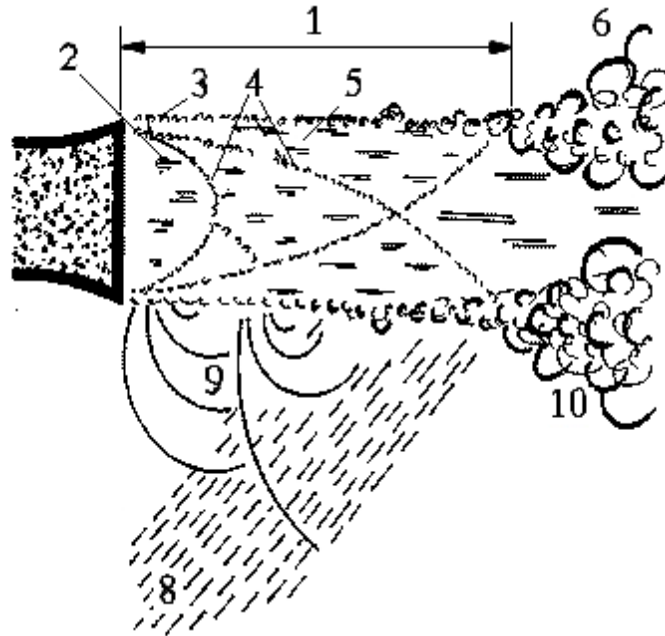


Рис. 1. Схематическое изображение потока (1–7) и звукового поля вблизи сопла ракеты (8–10). 1 – сверхзвуковая зона перемешивания, быстрое увеличение скорости потока, 2 – зона температурной неоднородности, вызванная горением и перемешиванием, 3 – медленно распространяющийся турбулентный пограничный слой со сдвигом, максимальный градиент скорости; 4 – ячеистая структура ударных волн; 5 – турбулентные вихри конвертирующие со сверхзвуковой скоростью; 6 – дозвуковая зона перемешивания, турбулентные вихри конвертируют с дозвуковой скоростью, интенсивная турбулентность, умеренные градиенты скорости; 7 – сопло двигателя ракеты; 8 – остронаправленные интенсивные волны Маха, излучаемые турбулентными вихрями, конвертирующими со сверхзвуковой скоростью; считается что это основной источник шума ракет; 9 – сферические звуковые волны, возникающие вследствие взаимодействия турбулентного потока с ударными волнами, этот шум не слишком интенсивен; 10 – звук, возникающий из-за интенсивной турбулентности зоны дозвукового течения, составляет максимальную часть общего излучения струи ракетного двигателя

Это привело к возникновению и бурному развитию нового направления в аэроакустике, получившего название вычислительной аэроакустики.

Для численного моделирования сверхзвуковой струи, дальнего и ближнего акустического поля было выбрано CFD приложение ANSYS Fluent. Данное приложение является одним из передовых инструментов в мире, для решения CFD задач.

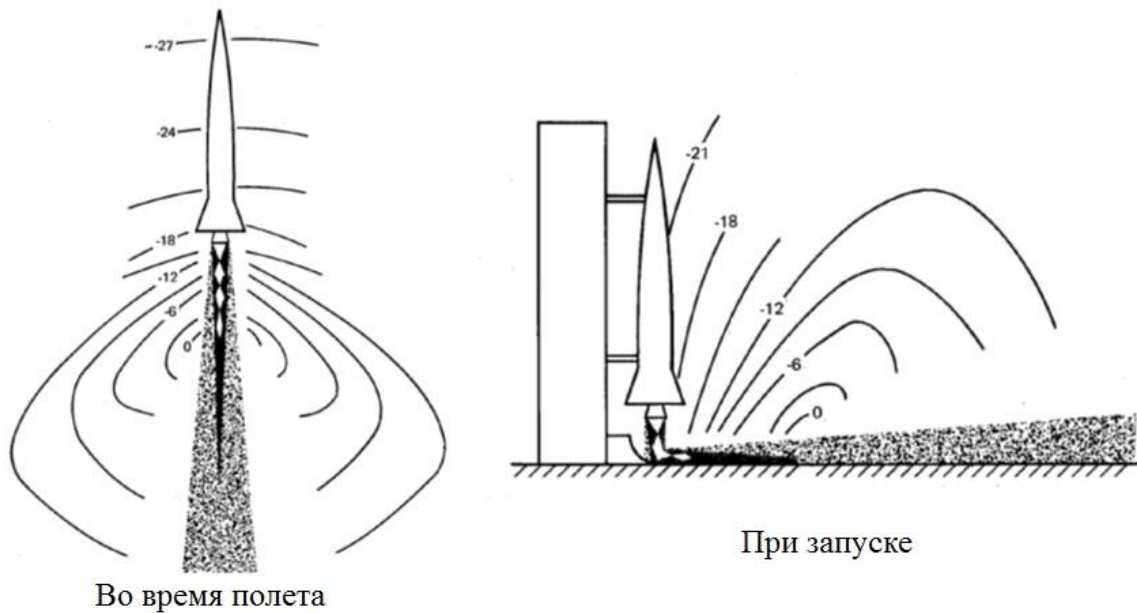


Рис. 2. Акустическое воздействие шума при запуске и во время полета ракеты

Из методов расчета шума во Fluent можно выделить эмпирические методы и методы, свободные от эмпиризма. Первые основаны на эмпирических корреляциях и теории подобия или на решении стационарных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (RANS) в сочетании со специальными эмпирическими моделями источников звука, например как модель шума реактивной струи (во Fluent – jet noise). Такие методы неприменимы вне изученного диапазона изменения режимных и геометрических параметров. Но вполне подходят для качественной оценки источника шума. В отличие от прямого и интегрального FW-H методов вычисления, модели источников широкополосного шума не требуют нестационарных решений для основных уравнений жидкости и газа. Все модели источников запрашивают обычные RANS модели, такие как область средней скорости, турбулентная кинетическая энергия и скорость диссипации. По этой причине использование моделей источников широкополосного шума требует минимальных расчетных ресурсов.

Второй подход базируется на «вихреразрешающих» методах моделирования турбулентности – прямом численном моделировании (DNS), методе моделирования крупных вихрей (LES) и гибридных RANS/LES методах.

Вихреразрешающие методы расчета шума можно разделить на две категории: прямое моделирование и интегральные методы.

Прямое моделирование заключается в совместном расчёте генерации звука турбулентными структурами и распространения звуковых волн за пределы турбулентной области вплоть до положения наблюдателя в рамках единой системы газодинамических уравнений.

Интегральные методы расчета шума – это двухэтапные методы, основанные на раздельном расчёте генерации шума и его распространения. В соответствии с этим на первом этапе производится гидродинамический расчёт, в процессе которого информация о нестационарных характеристиках потока сохраняется на так называемых контрольных поверхностях. На втором этапе с использованием этой информации производится расчёт распространения звука до положения наблюдателя с помощью соответствующих интегральных формул.

Наиболее существенно преимущество интегральных методов при расчете акустических характеристик на больших расстояниях от источника шума. Действительно, в рамках прямого моделирования, приходится использовать большие расчетные области, тем не менее, сетки должны оставаться достаточно подробными для разрешения акустических волн вплоть до положения наблюдателя. Это влечет за собой огромные вычислительные затраты, которые можно существенно сократить при использовании интегральных методов.

Наиболее известными интегральными методами являются метод Кирхгофа и метод Фокса Вильямса-Хокинса (Ffowcs Williams & Hawkings, ФВХ). Следует отметить, что последний метод обладает рядом существенных преимуществ с вычислительной точки зрения. Контрольная поверхность в данном методе может располагаться в непосредственной близости к границам зоны турбулентности потока, что позволяет ограничить зону мелкой сетки, необходимой для разрешения широкого спектра турбулентности и генерируемых ею звуковых волн, непосредственно турбулентной областью. По этой причине метод ФВХ становится все более популярным и реализован во многих расчетных кодах.

Все рассмотренные методы обладают как плюсами, так и минусами (рис. 3), для задачи оценки влияния шума реактивной струи на корпус головной части ракеты-носителя более подходит метод ФВХ.

• Эмпирический метод	+ Низкая <u>ресурсозатратность</u> - Не универсальность
• Метод широкополосного шума	+ Низкая <u>ресурсозатратность</u> + Стационарная постановка - Только источник шума
• Прямой численный метод	+ Дальнее и ближнее поле + Универсальность - Высокая <u>ресурсозатратность</u>
• Метод FWH	+ Дальнее и ближнее поле + Низкая <u>ресурсозатратность</u> + Универсальность

ОПТИМАЛЬНЫЙ МЕТОД

Рис. 3. Выбор оптимального метода для решения задачи

В настоящее время большинство промышленных задач, в том числе и акустических, решается с использованием коммерческих кодов общего назначения). Одним из наиболее известных и широко используемых кодов является ANSYS FLUENT, в котором реализован метод ФВХ. Несмотря на большой ряд работ, где расчет проводится с использованием этого пакета, до сих пор не существует базы данных, в которых систематически бы были протестированы и продемонстрированы возможности данного кода применительно к задачам вычислительной аэроакустики. Обсуждения тестирования предполагаются в следующей работе.

Библиографический список

1. Карачун, В.В. Основные причины шума ракет носителей / В.В. Карачун, В.Н. Мельник // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – № 9(45). – 11 с.
2. Lighthill, M.J. On sound generated aerodynamically: I. General theory. Proceedings of Royal Society. Vol. A211, 1952, pp. 564–587.