РАСЧЕТ ГЕНЕРАЦИИ, РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ИЗЛУЧЕНИЯ ШУМА В СИСТЕМЕ СВЕРХЗВУКОВОЙ ВОЗДУХОЗАБОРНИК - РОТОР ПЕРВОЙ СТУПЕНИ ВЕНТИЛЯТОРА НА РЕЖИМЕ ВЗЛЕТА

В.А. Шорстов

ЦИАМ им. П.И.Баранова, Москва, vashorstov@ciam.ru

В работе [1] было проведено численное исследование распространения по каналу сверхзвукового воздухозаборника (ВЗ) и излучения в дальнее поле предварительно рассчитанных возмущений вентилятора, работающего в однородном потоке. Следует предположить что возмущения генерируемые рабочим колесом вентилятора (РК) в существенно неоднородном и турбулентном потоке (см. [1]) будут отличны от регулярной системы ударных волн, так же могут отличатся особенности их распространения и излучения в дальнее поле. В текущей работе взаимное влияние течений в канале ВЗ и РК учитывается при помощи их совместного расчета. Как и в работе [1], для расчетов использовалась программа [2] и сетки H топологии, за исключением C сеток около лопаток РК (рис. 1).

Расчетная сетка канала ВЗ получена преобразованием квадрата со стороной в 260 ячеек. Шаг сетки по осевому направления близок к шагам по направлениям поперек канала вне области топологических углов. В работе использовалось РК первой ступени модельного вентилятора рассматриваемого в рамках проекта НЦМУ «Сверхзвук». В области стыковки сетка РК имеет 690 равномерных по углу ячеек. Во всех расчетах на твердых поверхностях использовалась функция стенки с y+ порядка 100. Используемые сетки не могут претендовать на хорошее описание присоединенных пограничных слоев, однако близость их шагов к равномерным хороша для описания распространения акустических возмущений и развития отрывов от острых кромок в рамках методов семейства DES.

На расстоянии хорды от лопаток РК, за их задними кромками, были организованы зоны демпфирования на основе взвешивания текущего решения с осредненным по времени.

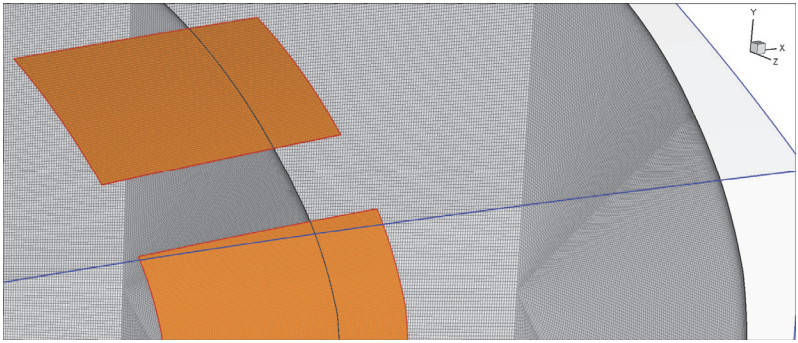

Рис. 1. Расчетные сетки для ВЗ (оранжевым изображены окна подпитки) и РК (перо лопатки голубое)

В работы применялся ряд подходов к описанию турбулентности включая URANS, DES и зонный вихреразрешающий подход. Для облегчения выявления эффектов связанных с допущениями и неточностями постановки расчеты ВЗ сопровождались расчетами РК с цилиндрическим модельным каналом. Канал содержит рабочую цилиндрическую часть с равномерной ячейкой в осевом направлении и расширяющуюся область, перед ней, с нарастающей ячейкой для демпфирования возмущений. Дополнительно около входной границы применяются области демпфирования аналогичные областям за задними кромками РК. Возмущения в канале создавались при помощи неровности на стенке порождающей отрыв который присоединяется до цилиндрического участка из за отрицательного градиента давления в сужающемся канале. Зона с неровностью всегда рассматривается в постановке URANS, из за грубости сетки. Описание течения в ней не может претендовать на физичность, но к цилиндрическому участку формируется почти стационарная область с потерями полного давления и повышенным уровнем турбулентной вязкости что и требуется для модельной задачи в постановке URANS. Для расчета с использованием вихреразрешения в начале цилиндрического участка устанавливается граница LES области с генератором синтетической турбулентности на входе.

На рисунке 2 представлены мгновенные картины течения в модельном канале с однородным потоком и канале с использованием зонного визреразрешающего подхода. В зонной вихреразрешающей постановке стационарная составляющая окружной не-

равномерности составила 1.4% с размером сектора пониженного полного давления в 27°.

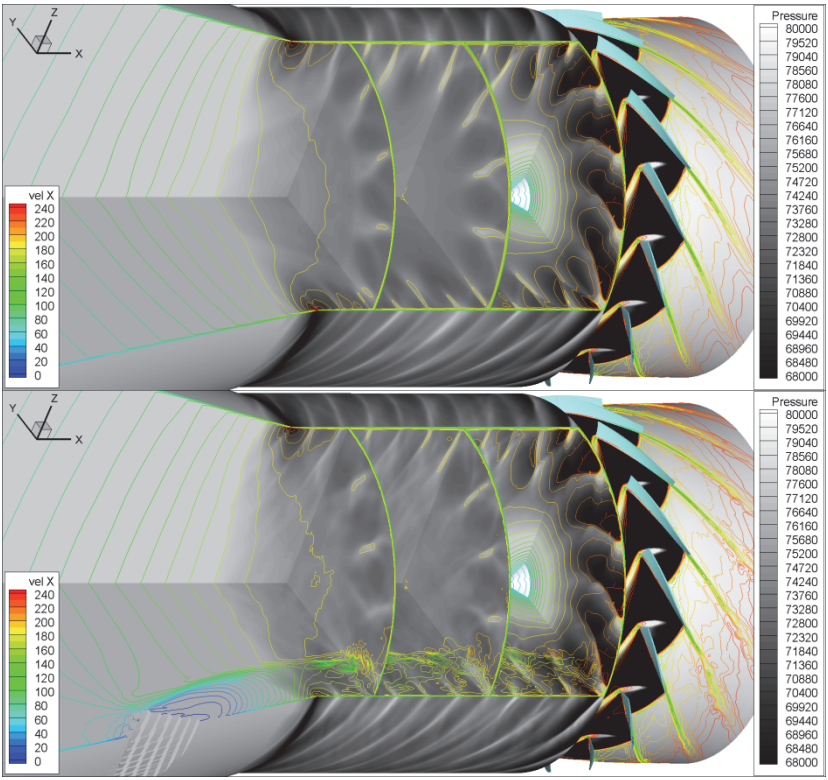

Рис. 2. Поля статического давления и изолинии осевой скорости в задачах с каналам с однородным потоком, с неровностью стенки в постановке URANS и с использованием зонного вихреразрешающего подхода

На рисунках 3, 4 приводятся сопоставления уровней акустического давления для расчетов канала с однородным потоком и с возмущениями в зонной постановке.

На них представлены спектры в плоскости расположенной в 0.06м от передних кромок лопаток РК, разложения на азимутальные моды в этой же плоскости, а так же изменения уровней на частоте следования лопаток РК на протяжении канала

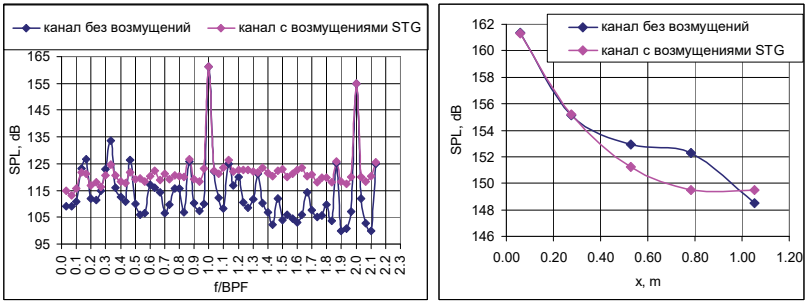

Рис. 3. Спектры уровней акустического давления в плоскости 0.06м от РК (слева) и уровни акустического давления на протяжении канала

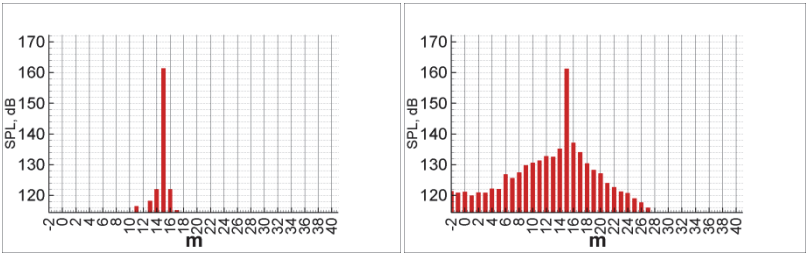

Рис. 4. Разложение боля акустического давления на азимутальные моды для канала с однородным и возмущенным потоками

Рисунки 3, 4 показывают, что рассмотренные возмущения не оказали существенного влияния на работу РК и генерируемый им шум, но возмущения от ВЗ будут больше.

Доклад подготовлен в рамках реализации Программы создания и развития научного центра мирового уровня «Сверхзвук» на 2020-2025 годы при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение от 24 июня 2021 г. №075-15-2021-605)

Литература

1. В.А. Шорстов, Численное исследование особенностей распространения акустических возмущений в нерегулируемом сверхзвуковом воздухозаборнике, Матем. моделирование, 35:10 (2023), 19–35.
2. В.А. Шорстов Программа для ЭВМ «Трекер вихрей и волн» («ВиВ Трекер»), свидетельство № 2022661092, 15.06.2022.