

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРИ СТАРТЕ РКН С ГАЗОХОДОМ ЧИСЛЕННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА

Татьяна Батутина, Денис Бондарь.

Государственное предприятие «Конструкторское Бюро «Южное» им. М.К. Янгеля

Введение

В настоящее время разработчики космических аппаратов всё больше ужесточают требования к шумоизоляции головных обтекателей ракет и общим уровням звука, генерируемым на стартовых столах при старте, а также по срокам подготовки к пуску. Так как реализация натурных испытаний и измерение акустических нагрузок при них требуют времени и больших денежных вложений, всё большую актуальность приобретает численное моделирование процессов акустического нагружения при старте.

Введение

В данной работе представлены результаты моделирования акустических нагрузок на РКН при старте со стартового стола с газоходом в среде Ansys 19 R2 (модуль Fluent).

Была построена двухмерная модель РКН на старте и проведено численное моделирование процесса генерации звука в истекающей струе ДУ. Задача моделирования решалась для 3-х моделей турбулентности: k-epsilon, k-omega и SST, в стационарном режиме.

При использовании модели k-epsilon уравнение движение потока преобразовывалось к виду, в котором добавлено влияние флуктуации средней скорости (в виде кинетической энергии потока и процесса уменьшения этой флуктуации (диссипации) за счёт сил вязкости). При решении по модели k-omega, вместо определения величины диссипации, решалось уравнение скорости диссипации. При использовании модели SST – Shear Stress Transport (Перенос сдвиговых напряжений) решение являлось смесью первых двух: для расчёта течения в свободной струе применялась модель k-epsilon, а для расчёта пристеночных процессов использовалась k-omega.

Введение

В результате расчета получены картины отклонения и растекания струй ДУ на стартовом столе, а также геометрическое распределение и мощности акустических источников в моделируемых струях.

Результаты расчётов (мощности и расположение акустических источников) по каждой из 3-х численных моделей сравнивались между собой.

Основными критериями сравнения были: точность воспроизведения численными моделями уровней акустических нагрузок, распределение и направленности акустических источников в свободной и в отклонённой струе, снижение акустической мощности струи по мере удаления от сопла ДУ.

Введение

На следующих слайдах представлены рисунки со значениями абсолютного давления, динамического давления, температуры, скорости и акустического давления для каждого из 3-х вариантов моделирования.

Результаты моделирования со стационарным шагом по времени для моделей турбулентности k-epsilon, k-omega и SST представлены на рисунках 1-5, 6-10 и 11-15 соответственно.

Стационарный поток с моделью турбулентности k-epsilon

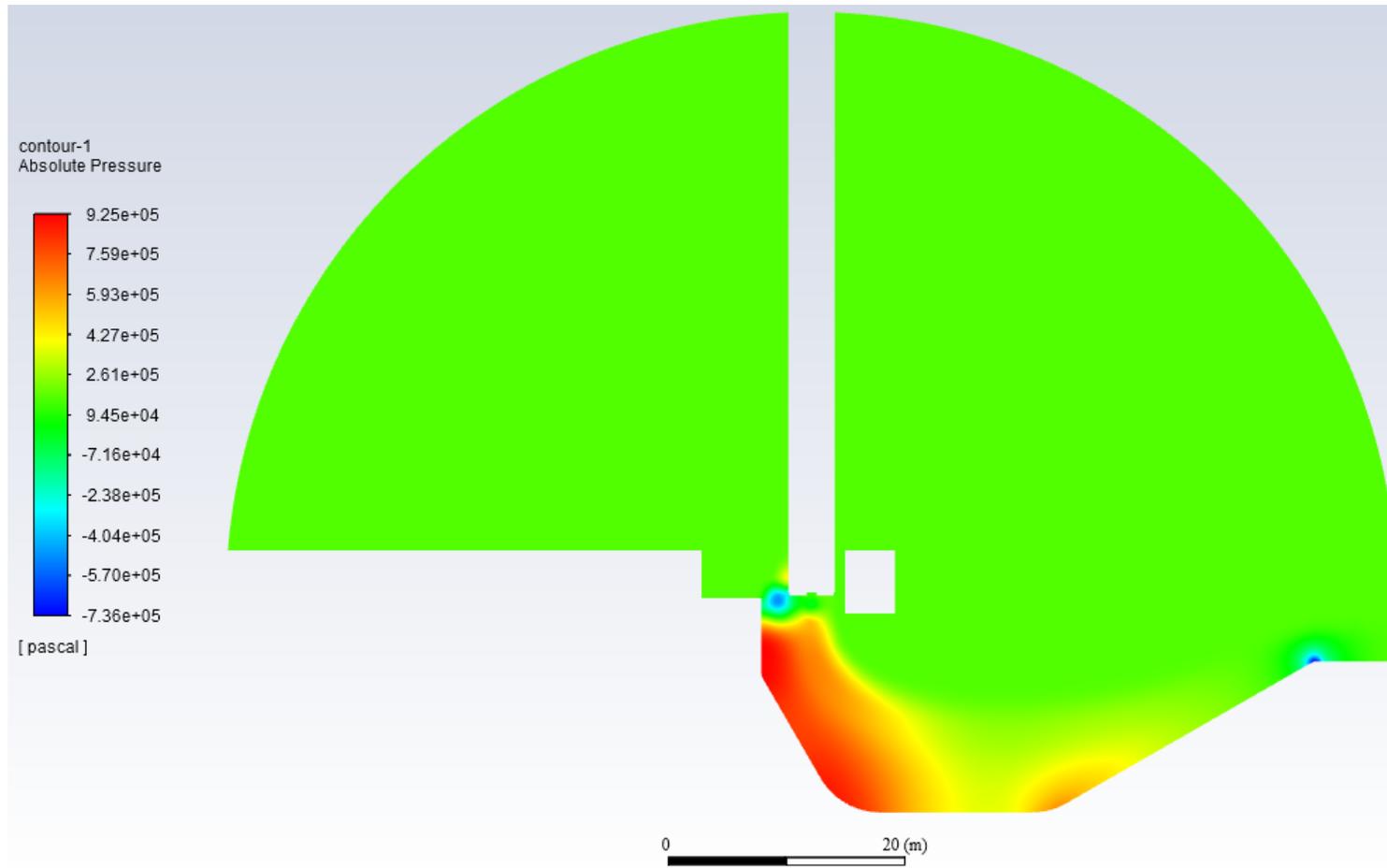


Рис. 1 Абсолютное давление.

Стационарный поток с моделью турбулентности k-epsilon

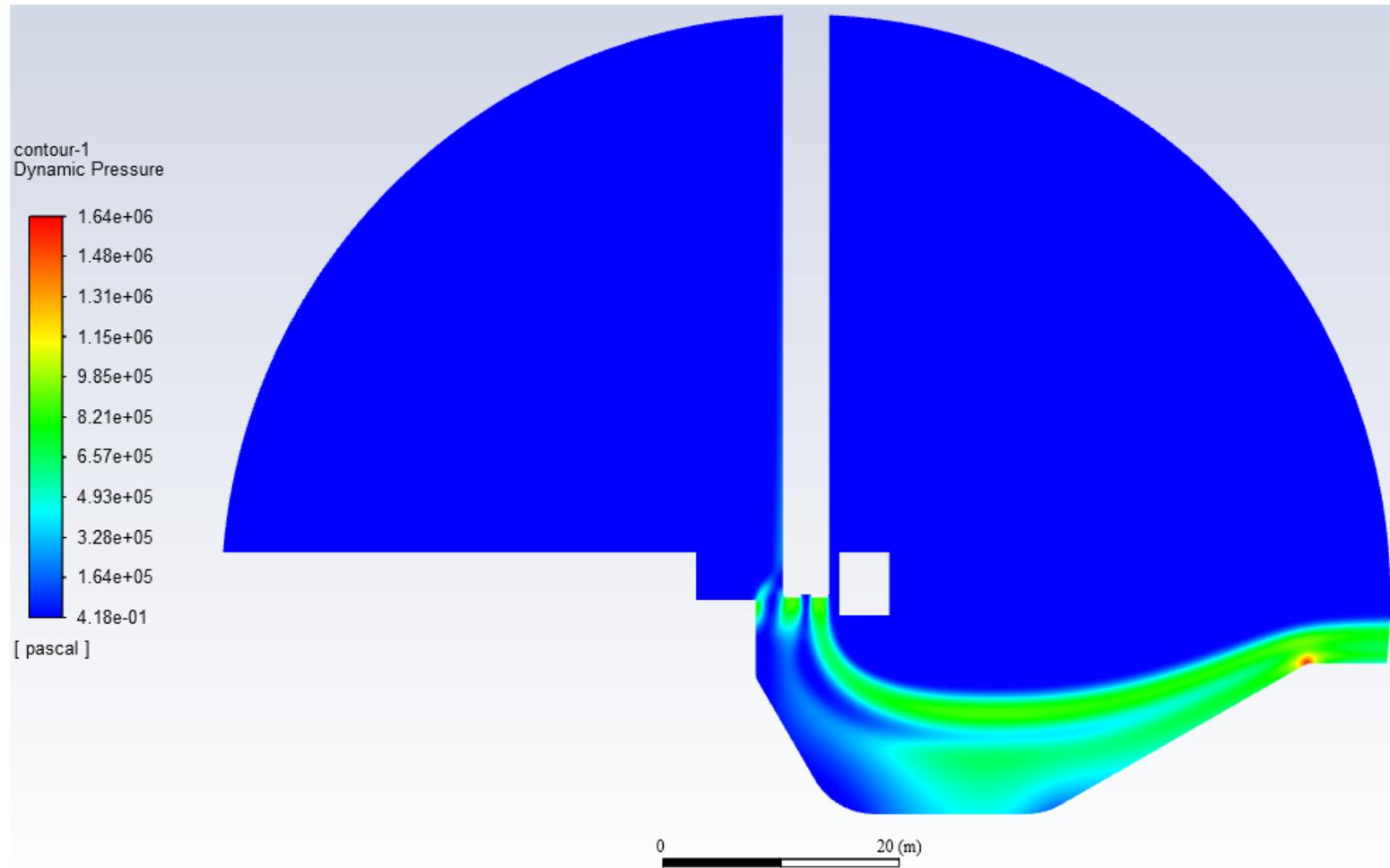


Рис. 2 Динамическое давление.

Стационарный поток с моделью турбулентности k-epsilon

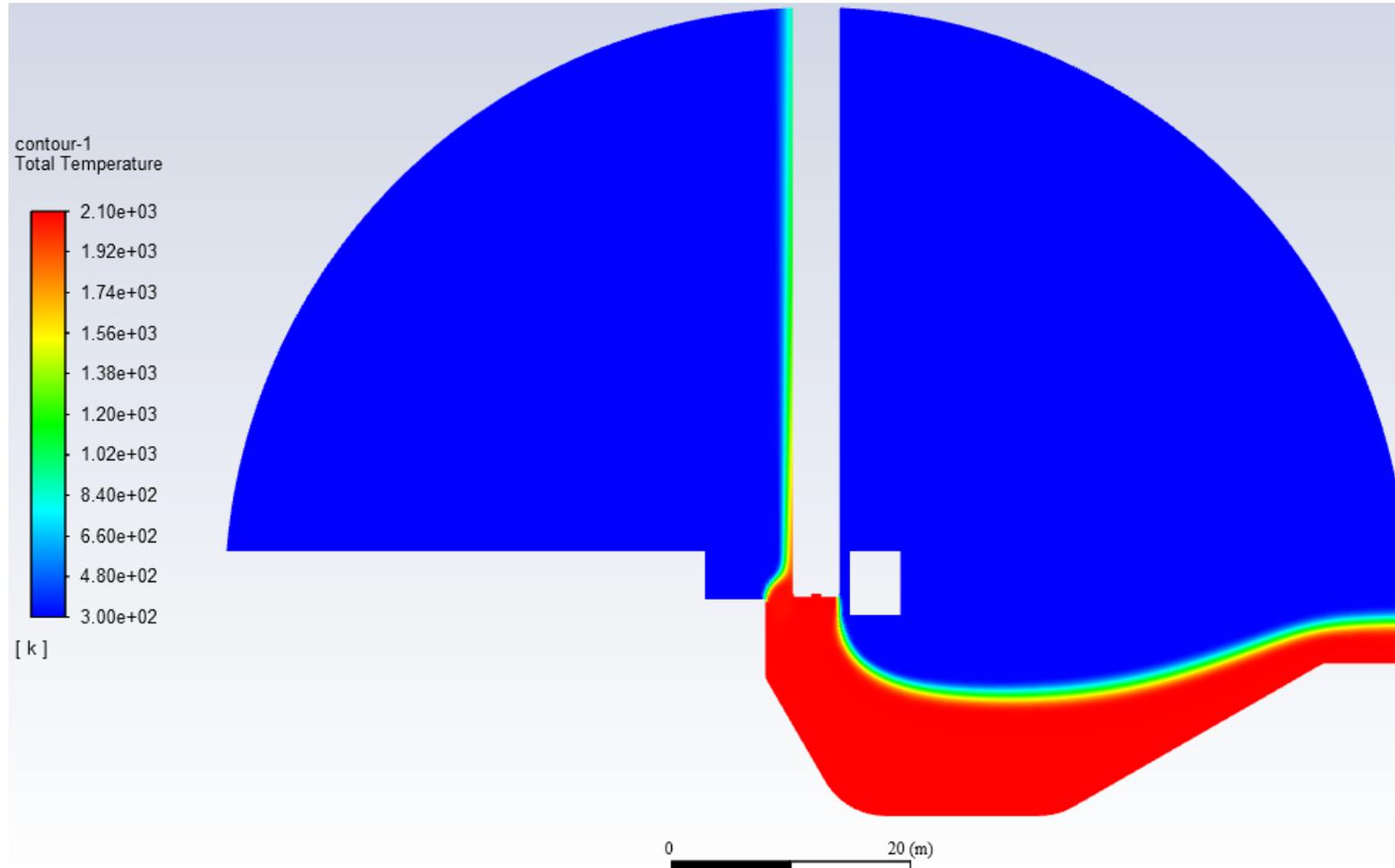


Рис. 3 Температура

Стационарный поток с моделью турбулентности k-epsilon

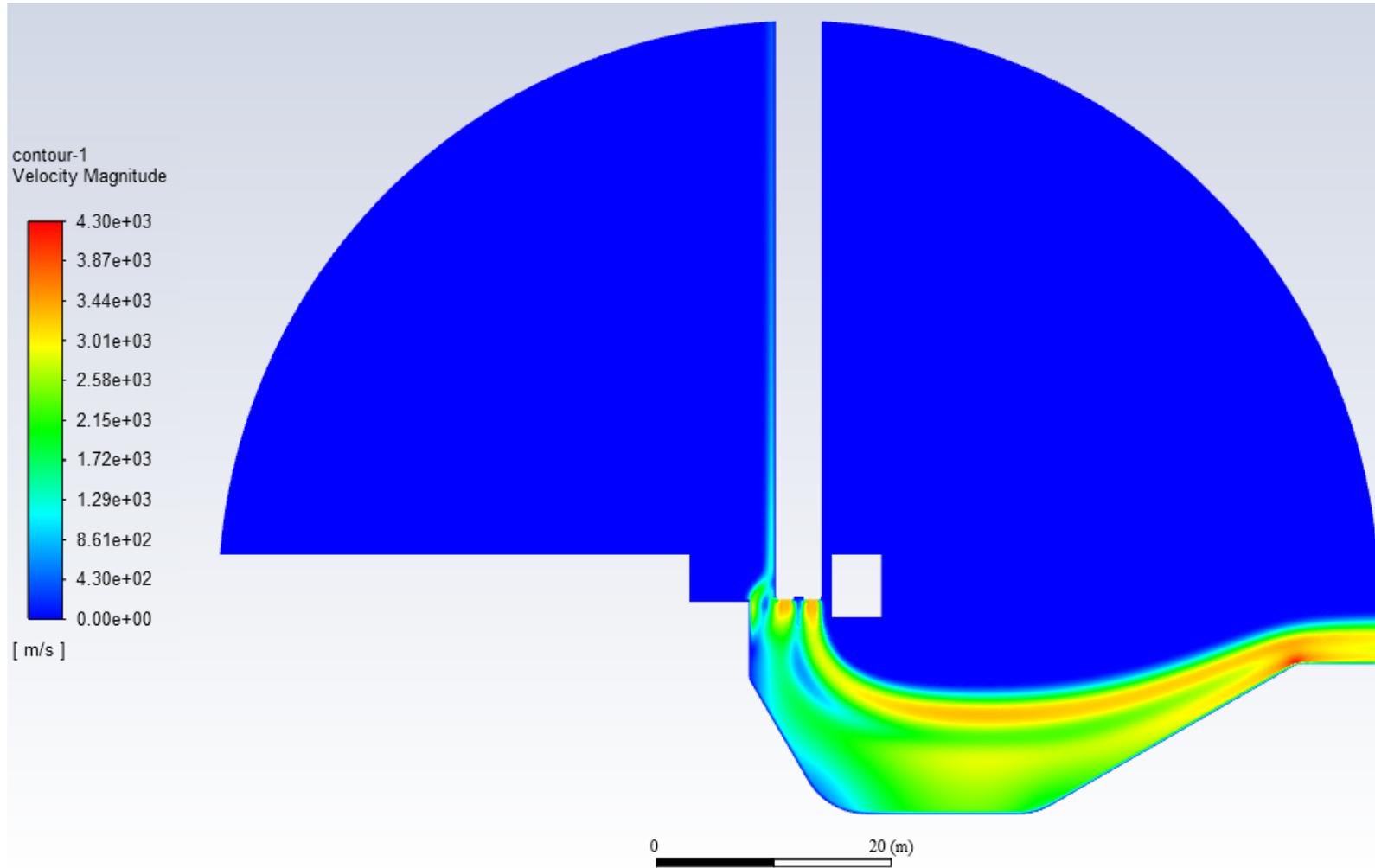


Рис. 4 Скорость струи.

Стационарный поток с моделью турбулентности k-epsilon

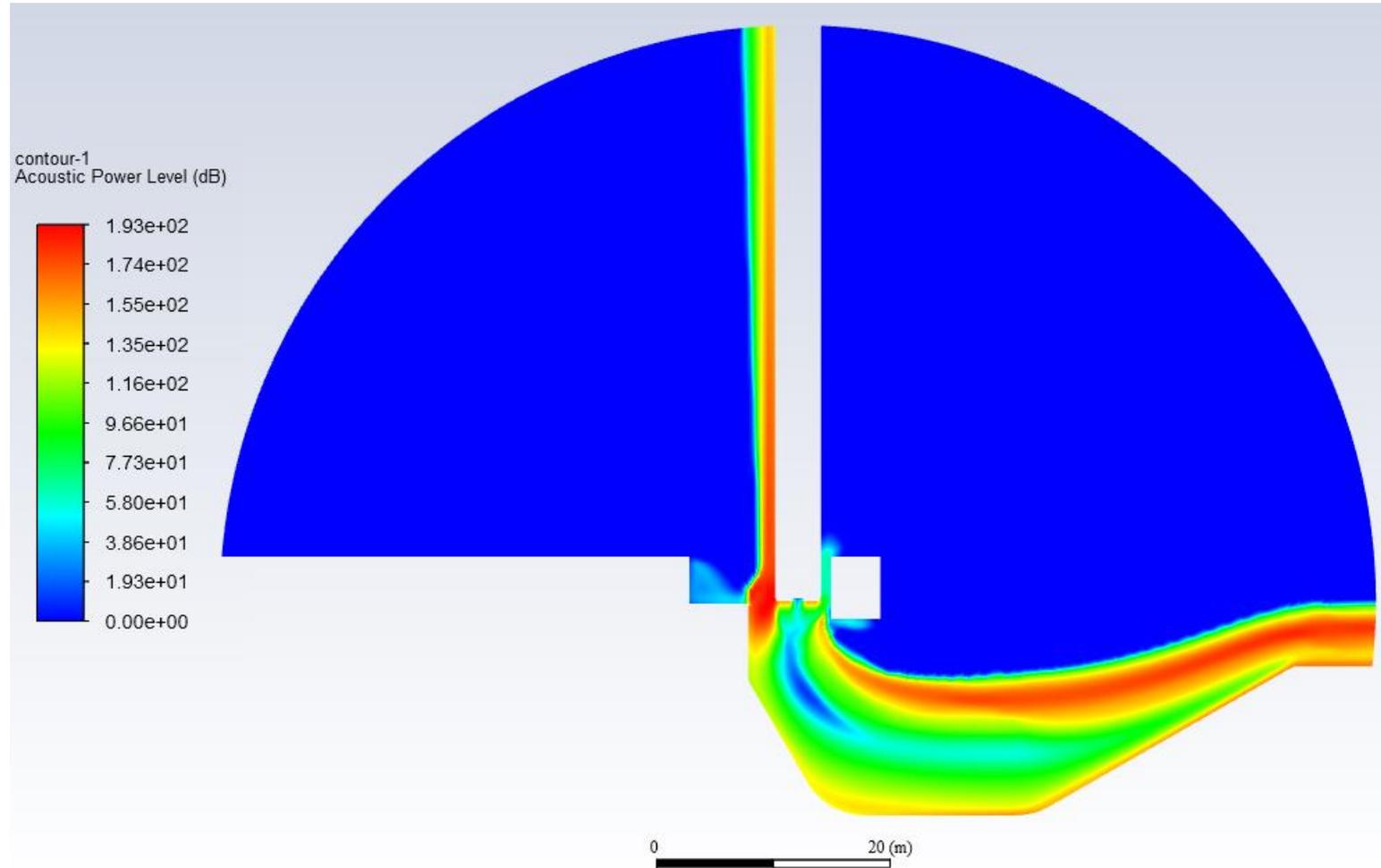


Рис. 5 Акустическое давление.

Стационарный поток с моделью турбулентности k-omega

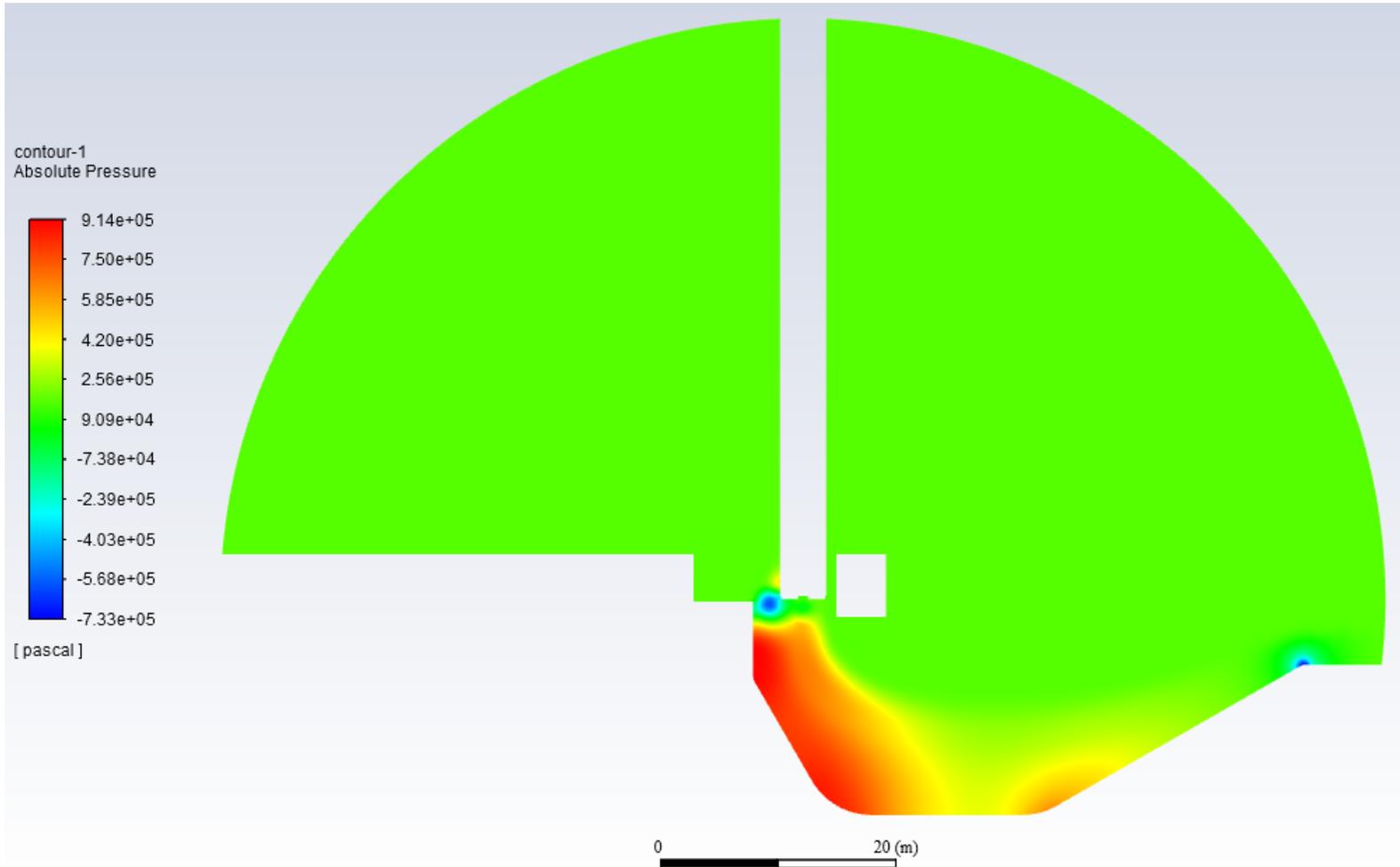


Рис. 6 Абсолютное давление.

Стационарный поток с моделью турбулентности k-omega

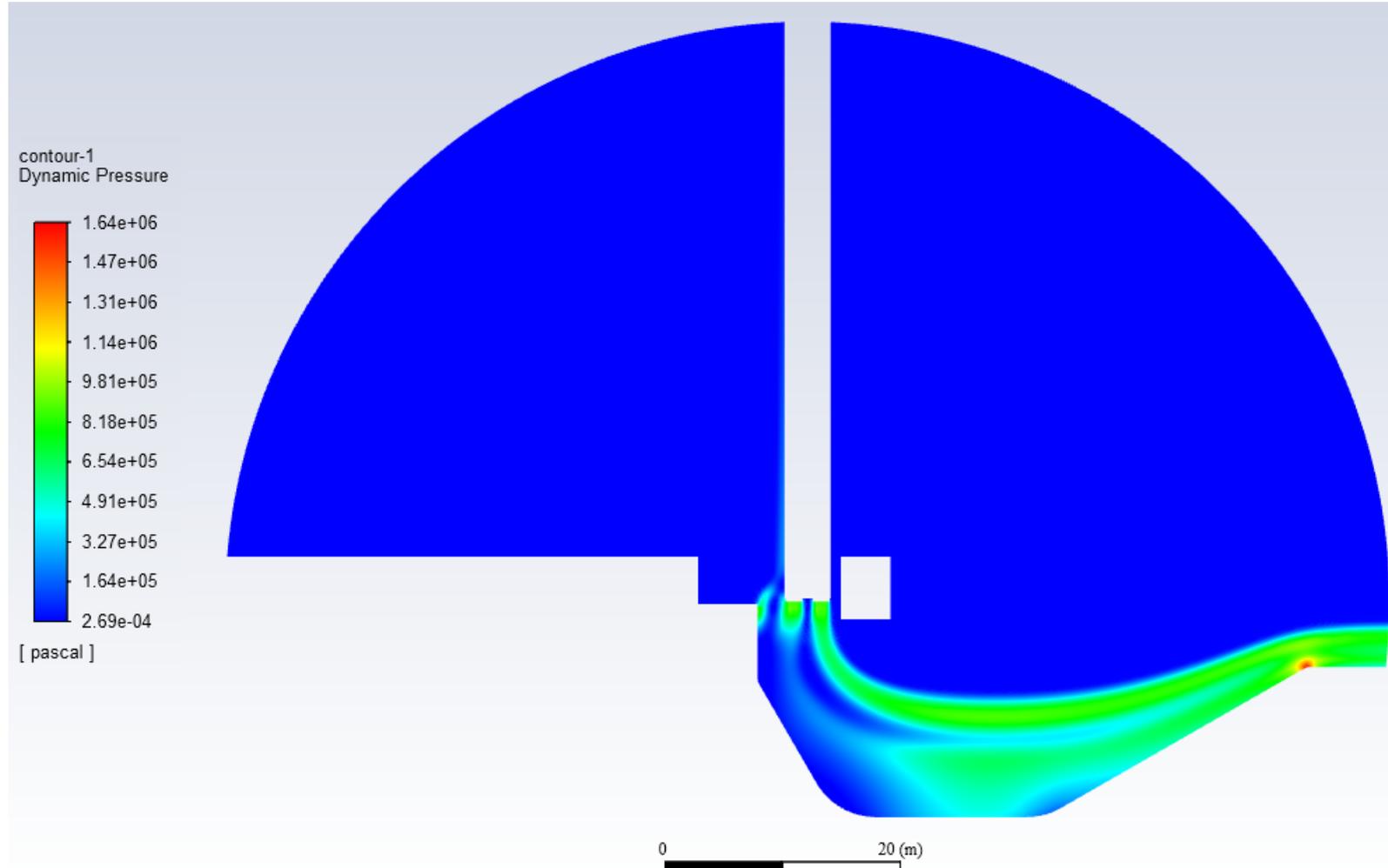


Рис. 7 Динамическое давление

Стационарный поток с моделью турбулентности k-omega

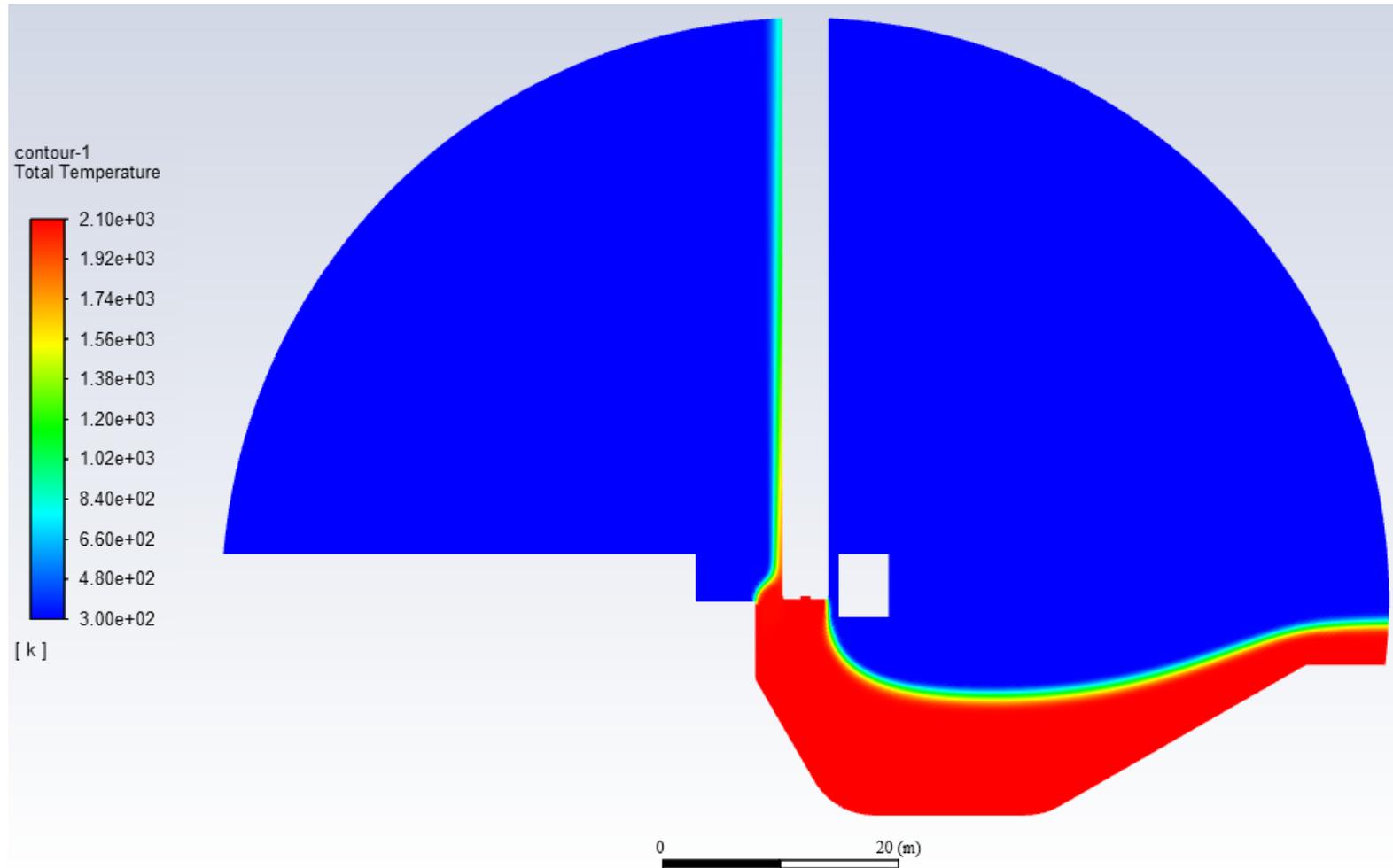


Рис. 8 Температура.

Стационарный поток с моделью турбулентности k-omega

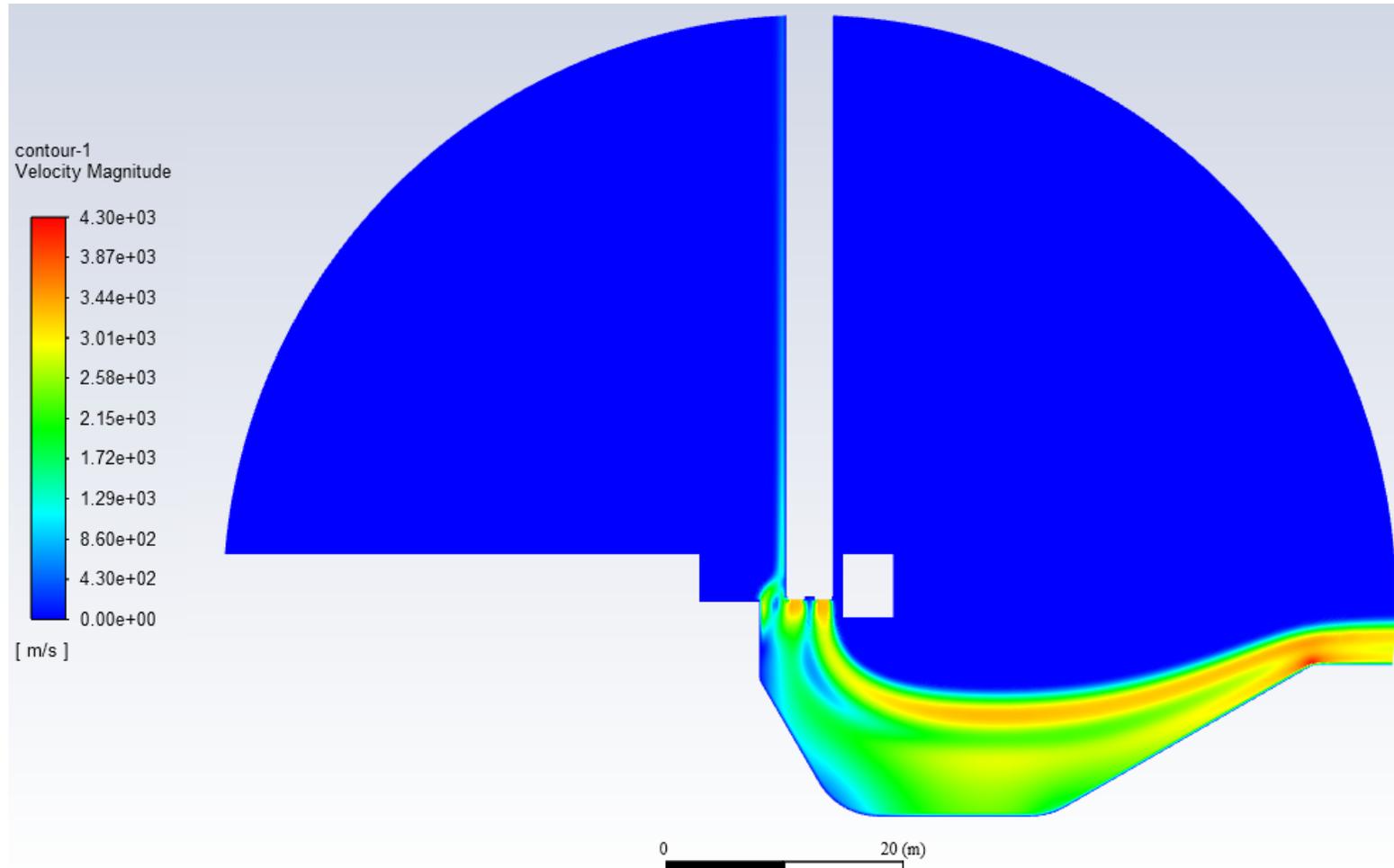


Рис. 9 Скорость струи.

Стационарный поток с моделью турбулентности k-omega

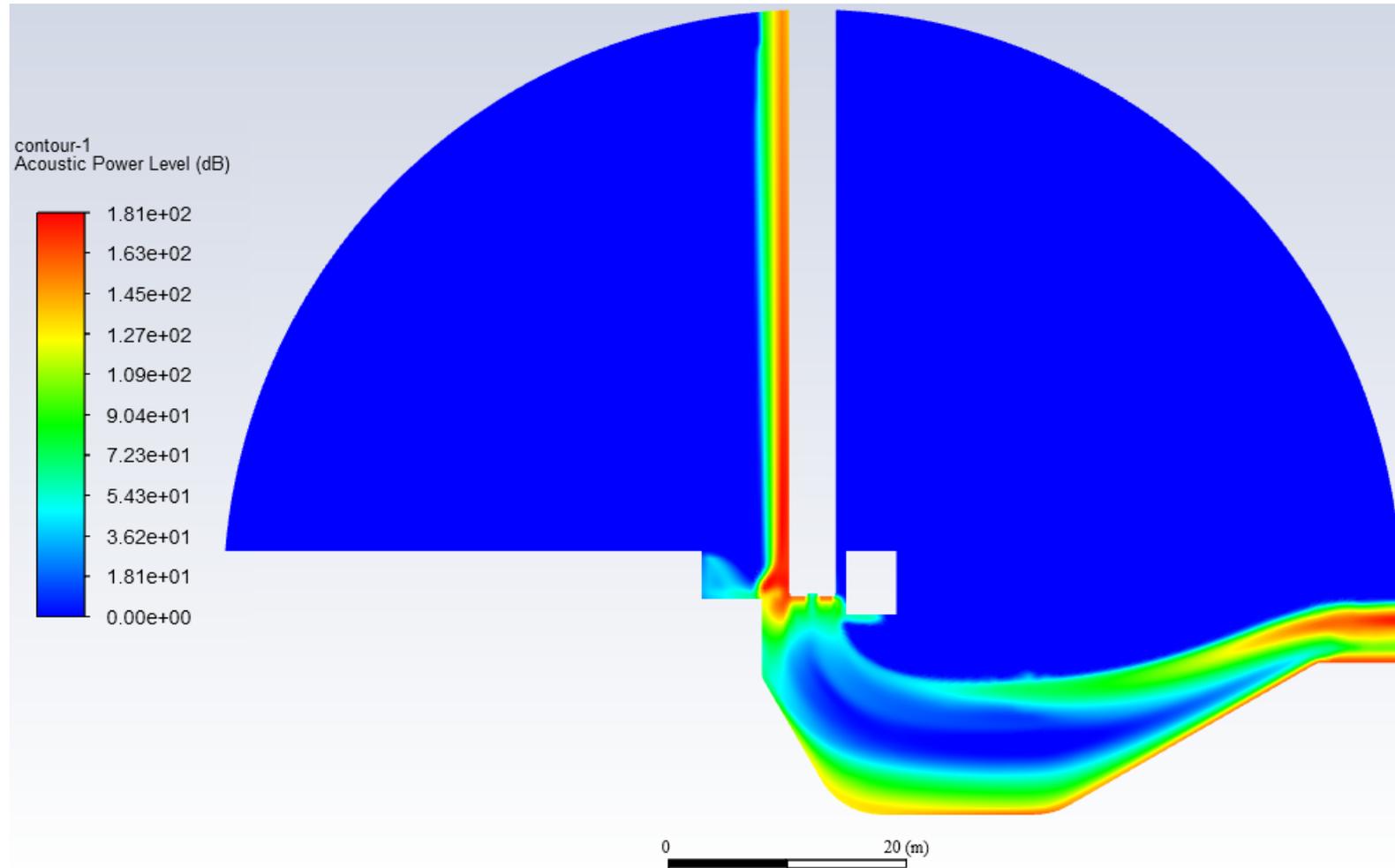


Рис. 10 Акустическое давление.

Стационарный поток с моделью турбулентности SST

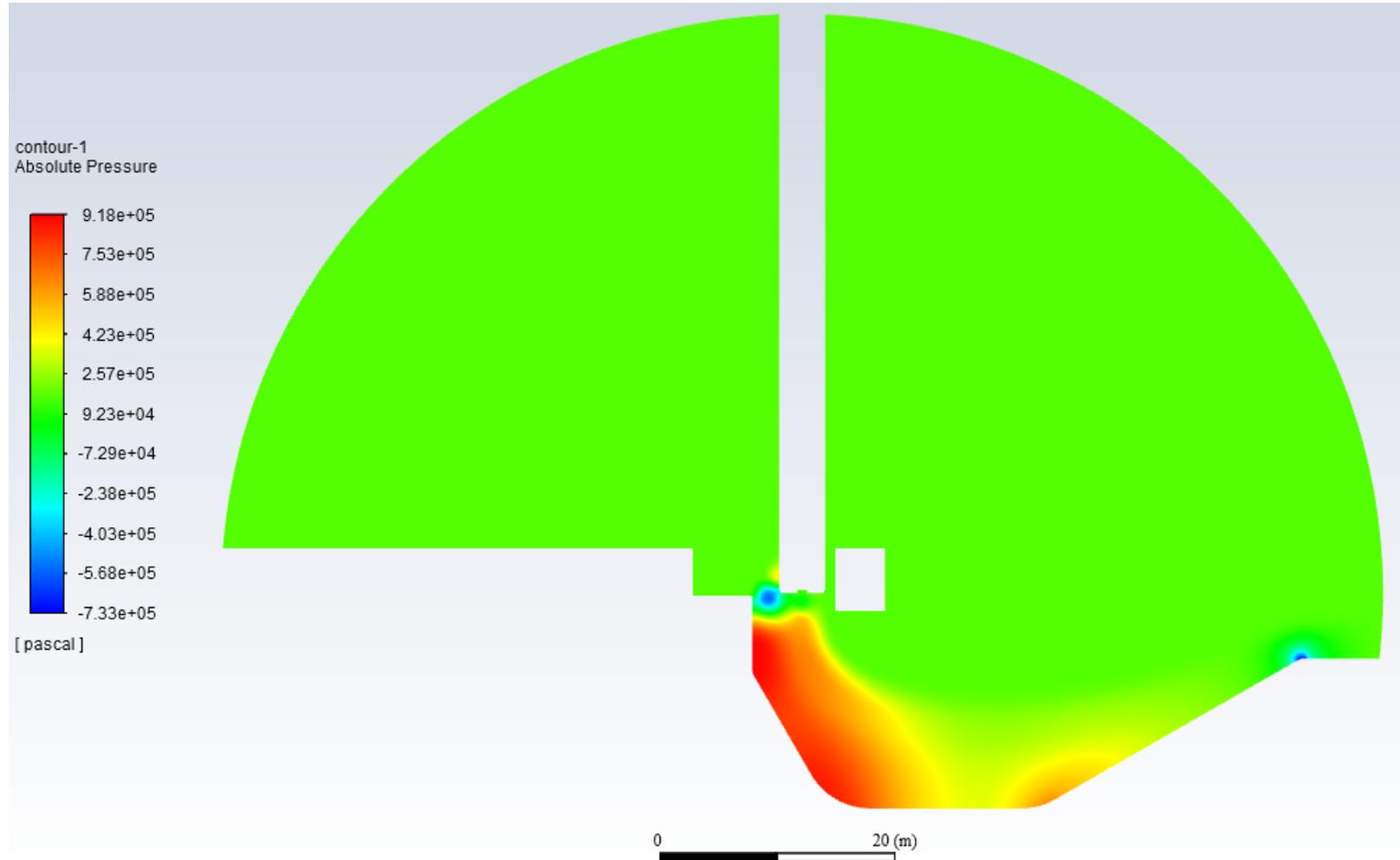


Рис. 11 Абсолютное давление.

Стационарный поток с моделью турбулентности SST

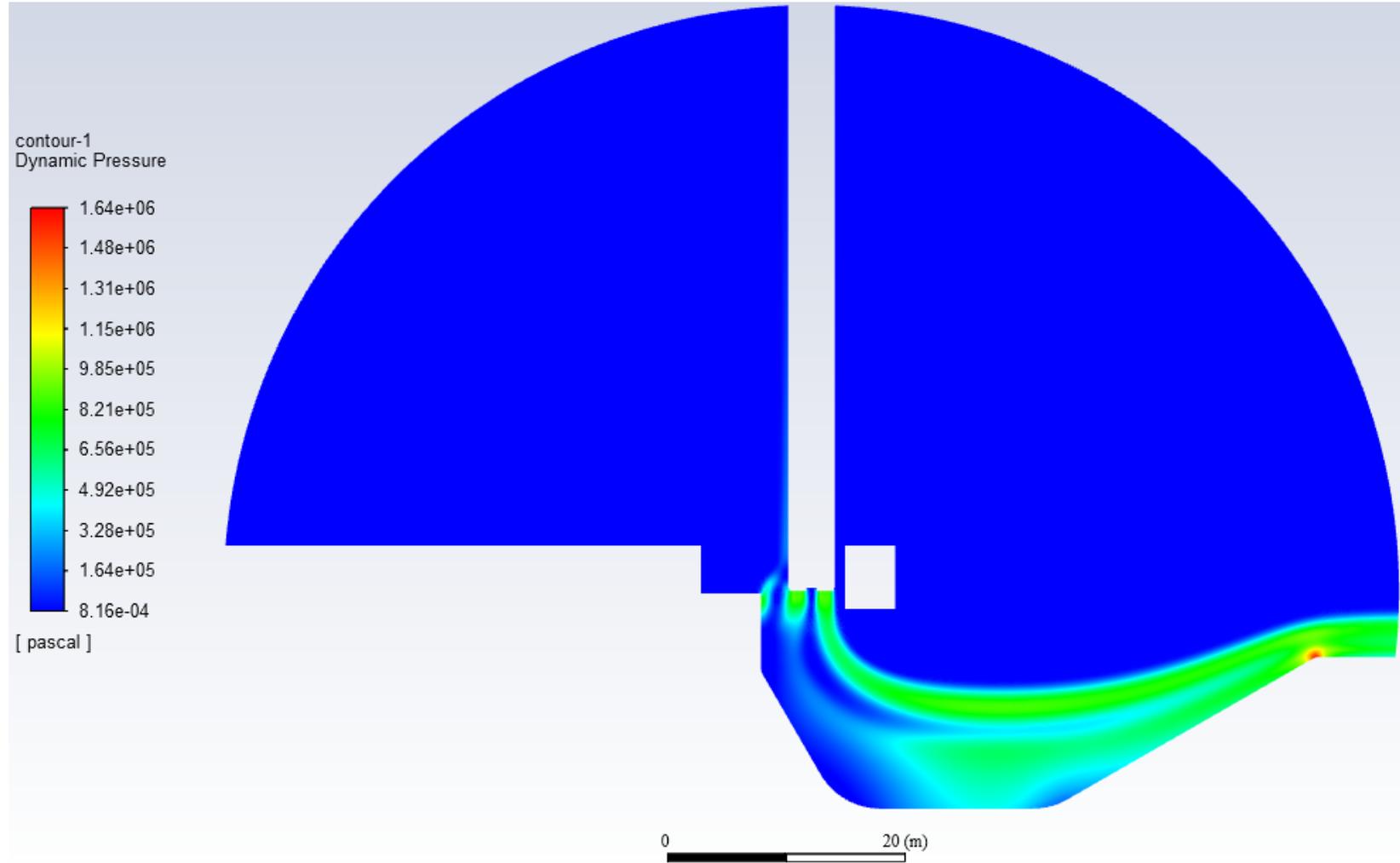


Рис. 12 Динамическое давление.

Стационарный поток с моделью турбулентности SST

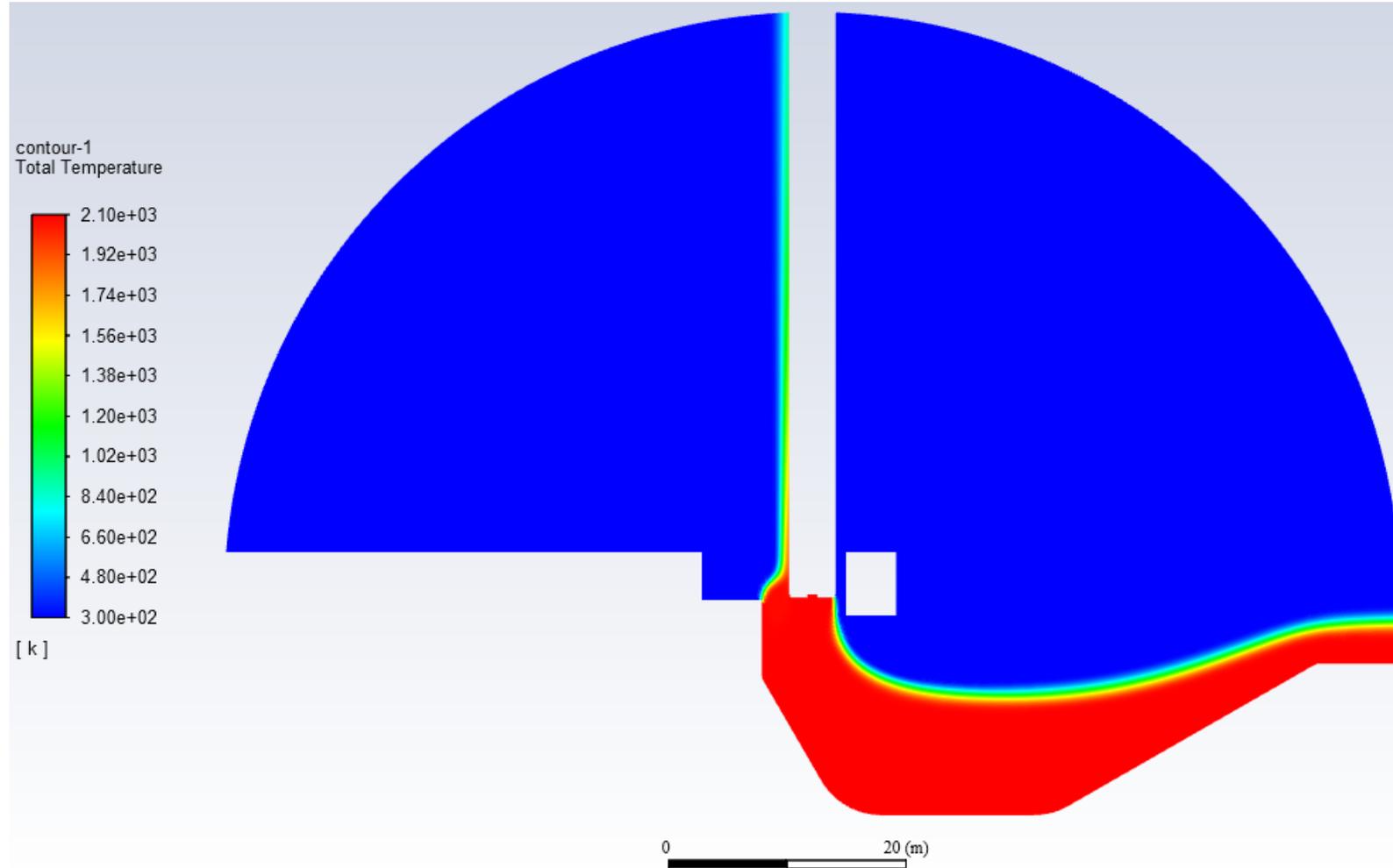


Рис. 13 Температура.

Стационарный поток с моделью турбулентности SST

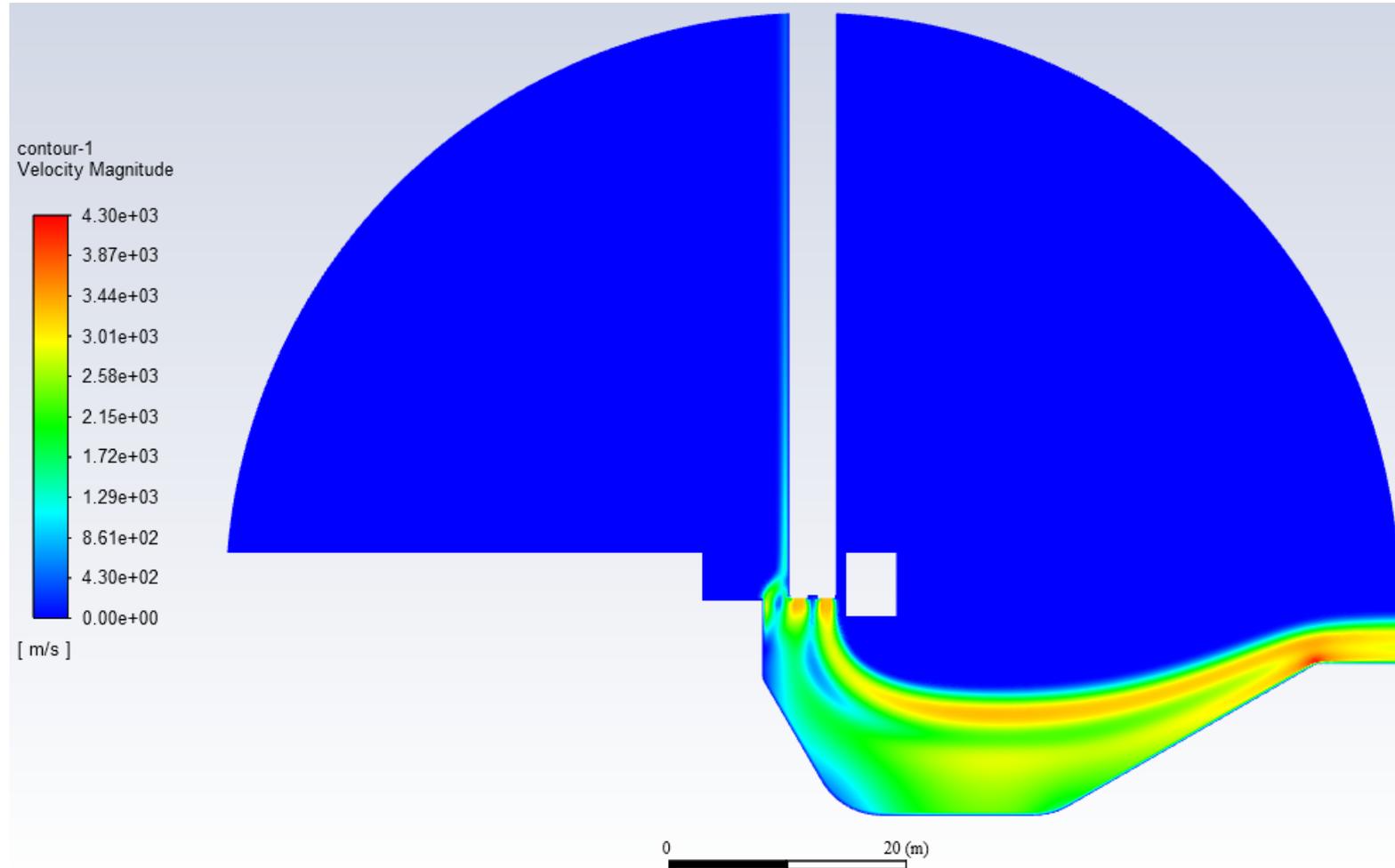


Рис. 14 Скорость струи.

Стационарный поток с моделью турбулентности SST

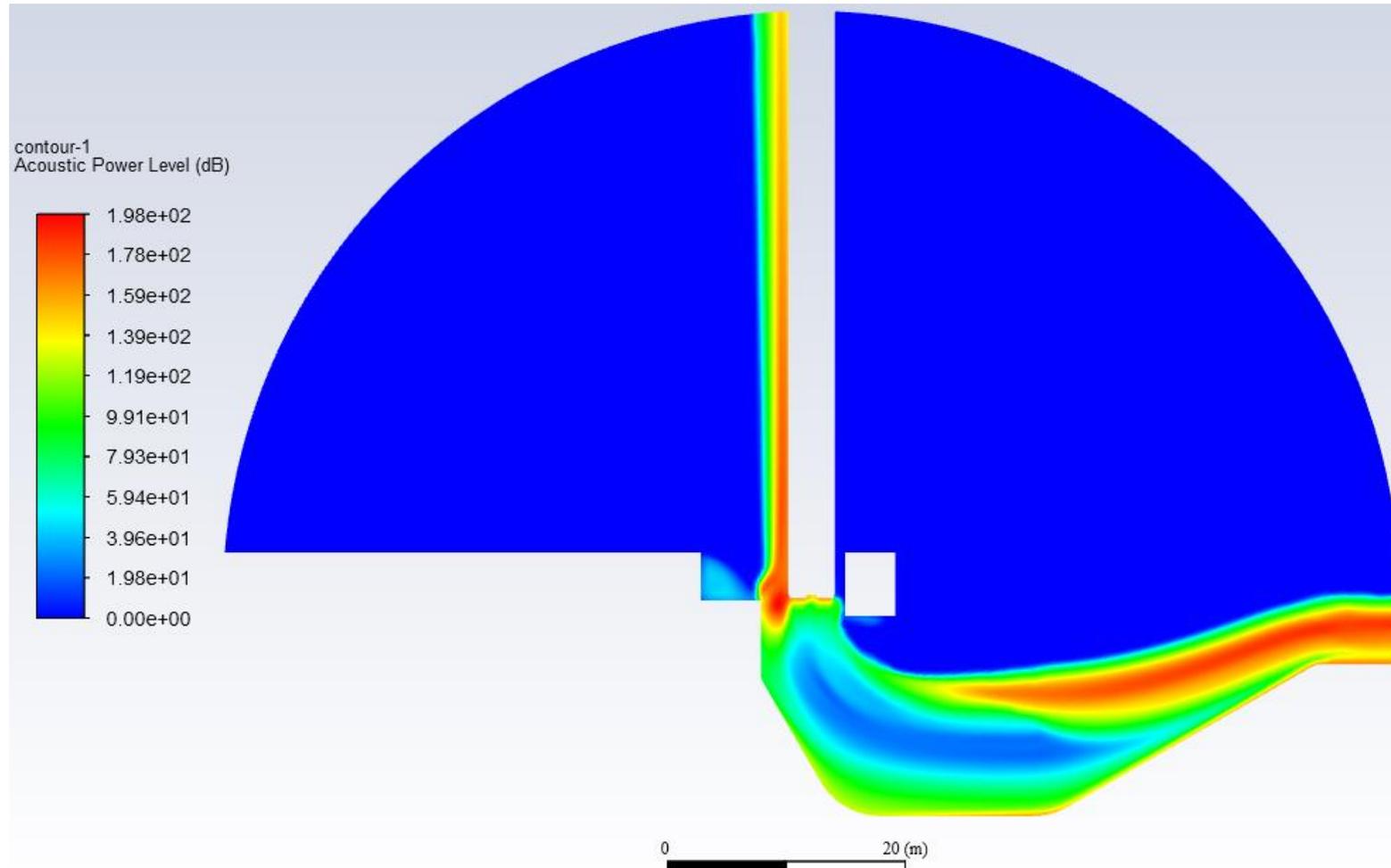


Рис. 20 Акустическое давление.

Анализ результатов

Как видно из рисунков, растекание струй каждого из сопел ДУ по желобу газохода происходит по разному ввиду разной формы желоба и его глубины под каждым из сопел ДУ. Представленные на рисунках 5, 10 и 15 картины распределения акустических источников хорошо показывают зоны перераспределения и рассеивания источников звука после натекания струи на желоб газохода. Также на рисунках видно, что в месте, где ракета отстоит от входа в газоход на большую величину, генерация звука происходит на желобе более интенсивно и отражается обратно на РКН. Данная картина совпадает с экспериментальными данными исследований струй и общепринятой теорией о том, что звуковое давление образуется при смешивании истекающего газа с неподвижным воздухом в окружающей среде и натеканием струи на препятствия.

При сравнении результатов моделирования стационарных струй с использованием моделей турбулентности k-epsilon, k-omega и SST друг с другом наблюдаются значительные расхождения в уровнях акустических нагрузок, степени расширения струй, а также распределений давления, скорости и зон звукообразования в струях.

Анализ результатов

Результаты моделирования по моделям турбулентности k-omega и SST более схожи между собой, чем с результатами расчёта по модели k-epsilon. Также, модели турбулентности k-omega и SST более достоверно учитывают газодинамические и акустические процессы в струе при прохождении струи в газоходе. Как видно на рисунках 10 и 15, при прохождении струи через газоход её акустическая мощность постепенно снижается, а зона наиболее интенсивного звукообразования распадается.

В результате сравнения установлено, что модель турбулентности k-omega наиболее приемлема и обеспечивает наибольшее сходство с натурным изделием, в части геометрического распределения, мощностей и спектров частот акустических источников в струе.



Спасибо за внимание