

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ В 3S-СЕПАРАТОРЕ

Наволокин Н.С. Email: Navolokin1136@scientifictext.ru

Наволокин Николай Сергеевич – магистрант,
кафедра трубопроводного транспорта,
Самарский государственный технический университет, г. Самара

Аннотация: статья посвящена внедрению на производстве новой перспективной технологии очистки природного газа — сверхзвуковой сепарации. В статье указаны основные преимущества 3S-сепараторов по сравнению с обычными способами сепарации. Описана принципиальная схема устройства 3S-сепараторов. Для изучения потоков с сильными завихрениями в этом сверхзвуковом устройстве было проведено моделирование в программном комплексе AnSys. Результаты показали, что поток газа ускоряется до сверхзвуковой скорости, а давление и температура понижаются до значений, благоприятных для конденсации и удаления паров воды.

Ключевые слова: сверхзвуковая сепарация; структура потока; завихряющее устройство; сопло Лаваля; моделирование ANSYS.

SIMULATION OF THE TURBULENT FLOW'S STRUCTURE IN 3S-SEPARATOR Navolokin N.S.

Navolokin Nikolay Sergeevich – Graduate Student,
DEPARTMENT PIPELINE TRANSPORT,
SAMARA STATE TECHNICAL UNIVERSITY, SAMARA

Abstract: analyses of internal flows in supersonic separator is focused in present work. Major advantages of the supersonic separators compared to traditionally methods separation are described in article. O study flows with strong vortices in this supersonic device, modeling was carried out in the software complex AnSys. The results showed that the gas flow is accelerated to supersonic speed, and the pressure and temperature are lowered to values favorable for condensation and removal of water vapor.

Keywords: supersonic separation; calculative gas dynamics; swirling flow generator; Laval Nozzle; simulation of ANSYS.

УДК 665.723

Природный газ является одним из наиболее важных источников энергии в мире, которые необходимы для устойчивого развития человечества. Но его добыча и подготовка к транспортировке связана с рядом проблем, среди которых важную роль играют очистка природного газа от тяжелых компонентов и водяного конденсата, образование гидратов и коррозия трубопроводов. Решение этих проблем требует значительных финансовых затрат на создание многофункциональных установок подготовки газа.

По сравнению с традиционной технологией основным преимуществом сверхзвуковой сепарации является малый размер и гибкая структура оборудования, которые делают его более подходящим для автономных операций. Кроме того, технология сверхзвуковой сепарации способствует развитию безопасной и экологически чистой газовой промышленности [1]. Авторы [2, 3] изучали высокоскоростное сжимаемое течение, анализировали эффекты падения давления и падения температуры в сверхзвуковом сепараторе.

Технология сверхзвуковой сепарации основана на охлаждении природного газа в сверхзвуковом закрученном потоке вследствие прохождения его через сопло Лаваля. В сопле газ разгоняется до скоростей, превышающих звуковую, при этом часть потенциальной энергии преобразуется в кинетическую, что приводит к сильному охлаждению газа и падению давления на выходе из сопла. При прохождении газом завихряющего устройства, происходит формирование двухфазного пограничного слоя с последующей конденсацией частиц воды на стенках сепаратора. Осушенный же газ проходит дальше [4].

Устройство сверхзвукового сепаратора представлено на рисунке 1.

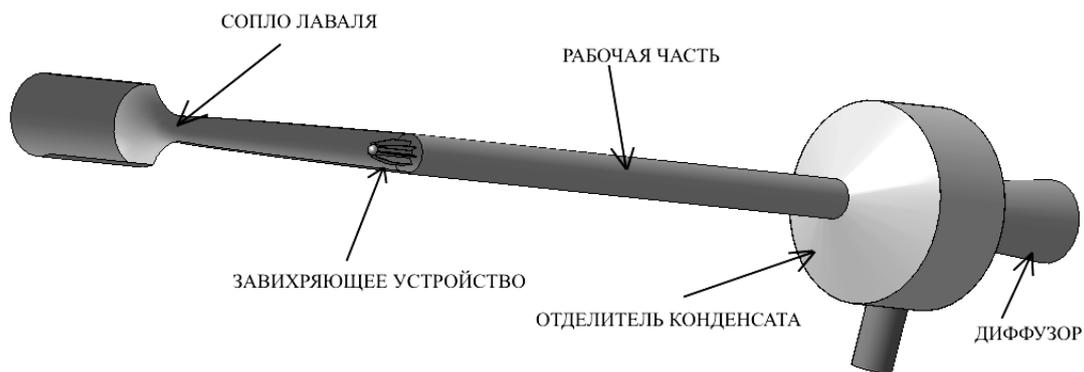


Рис. 1. Устройство сверхзвукового сепаратора

Сверхзвуковая сепарация по сравнению с обычными способами низкотемпературной сепарации имеет ряд преимуществ: отсутствие динамических элементов в конструкции аппарата; простота монтажа и эксплуатации; низкие капитальные и эксплуатационные затраты; сравнительно малые габариты и металлоемкость установки; возможность работы 3S-сепараторов при наличии жидкости во входном потоке газа; позволяет избавиться от холодильных установок.

Поле течения внутри сверхзвукового сепаратора имеет очень сложную структуру и включает дозвуковые, трансзвуковые и сверхзвуковые потоки [5]. Также при интенсивном вихревом потоке внутри сепаратора возникает турбулентная пульсация, поэтому изучение модели турбулентности играет важную роль в численном моделировании сверхзвукового сепаратора. С теоретической точки зрения, модель DNS является наилучшим подходом к изучению турбулентности в сверхзвуковом потоке. Однако из-за сложности алгоритма подход DNS требует более сложных вычислений, а также не может получить сходящиеся результаты. Существуют другие модели турбулентности, доступные для изучения поля течения. Для проведения газодинамических расчетов сверхзвукового потока была выбрана модель турбулентности $k-\epsilon$.

В нашем исследовании мы создали в программе ANSYS двухмерную модель внутренней структуры сверхзвукового сепаратора с завихряющим устройством. Поток в сверхзвуковом сепараторе считали стационарным, средой моделирования являлся воздух. При численном моделировании граничные условия по давлению назначались на входе и на выходе соответственно 4.5МПа и 2.5МПа. Процесс считался адиабатическим, температура 300К.

Расчет производился с постепенным уменьшением искусственной вязкости с 10 Па·с до 0 с целью улучшения сходимости решения. В среднем было проведено 6000-7000 итераций. Результаты расчёта представлены на рисунке 2. Они соответствуют нашим предположениям, т.е. после прохождения потоком сопла мы наблюдаем повышение скоростей до сверхзвуковых и понижение давления и температуры, а в месте прохождения через диффузор, т.е. месте увеличения диаметра, наблюдается постепенное возвращение этих параметров к нормальным значениям.

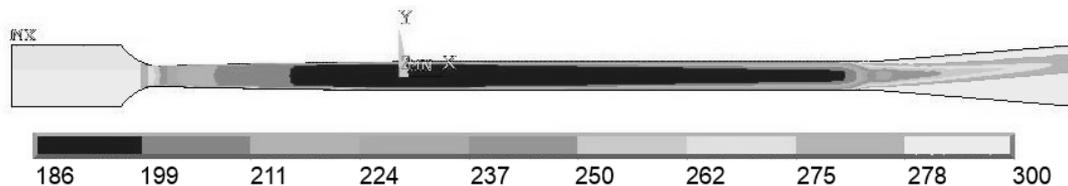


Рис. 2. Поле температур без завихрителя

Для создания имитации закручивания потока мы воспроизвели форму лопастей завихрителя и по его контуру задали радиальные скорости (рис. 3). Они имитировали отбрасывание потока к стенке, при этом значения скорости с одной стороны задавались большими, чем с другой, для создания неоднородности потока.

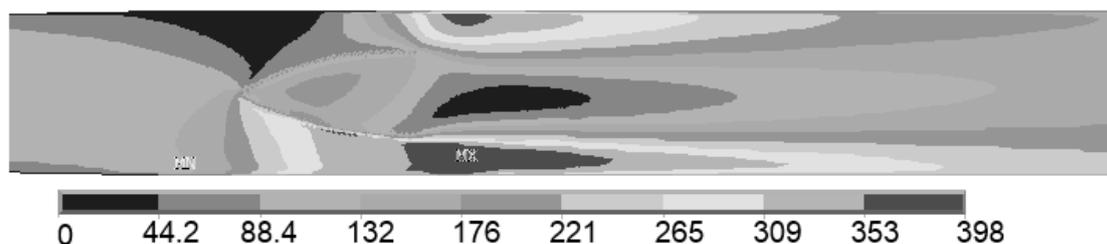


Рис. 3. Поле скоростей в области завихрителя

В нашем исследовании нам удалось воссоздать картину полей скоростей и температур, близкую к экспериментальной, что позволяет нам говорить о работоспособности данной модели. Получение более точных результатов требует построения трехмерной модели и проведения решения уже на ней.

Список литературы / References

1. Опыт применения 3S-технологии для обработки природного газа на газовых объектах России и Китая. [Электронный ресурс] // ООО «ЭНГО Инжиниринг». Режим доступа: http://engo3s.com/uploads/files/2015/SPE_Moscow_2015ru.ppt/ (дата обращения: 23.04.2017).
2. Yan Yang, Chuang Wen, Shuli Wang, Yuqing Feng, Eleventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIROю Melbourne, Australia, 7-9 December 2015.
3. Yan Yang, Chuang Wen, CFD modeling of particle behavior in supersonic flows with strong swirls for gas separation, Separation and Purification Technology 174, 2017. 22–28.
4. Liu X.W., Liu Z.L., Li Y.X. Numerical study of the high speed compressible flow with non-equilibrium condensation in a supersonic separator, J.Clean Energy Technol. 3, 2015. 360–366.