

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХЗВУКОВЫХ СЕПАРАТОРОВ НА  
ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РОССИИ

Д.В. Сурженко

Научный руководитель - доцент И.В. Шарф

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Оптимизация процесса промышленной подготовки газа к транспорту является одной из основных проблем, возникающих при освоении газоконденсатных месторождений Крайнего Севера. Данная задача решается посредством создания установок комплексной подготовки газа (УКПГ). В настоящее время большинство УКПГ базируются на технологии низкотемпературной сепарации (НТС), которая подразумевает применение дроссельных устройств и турбодетандеров. Данная технология не соответствует современным требованиям по параметрам энергоэффективности и целевой задачи снижения себестоимости продукции. Поэтому необходимо применение новых технологий. Например, сверхзвуковая газодинамическая сепарация (ГДС), ключевым устройством которого является сверхзвуковой сепаратор.

**Принцип действия сверхзвуковых сепараторов.** Газ поступает из трубопровода в сепаратор, где создается закрученный сверхзвуковой поток. Благодаря сверхзвуковому соплу поток сильно охлаждается (приблизительно до 200К), что приводит к конденсации жидкости. Далее поток попадает в диффузор, где происходит его адиабатное расширение, в результате чего температура опускается еще ниже. Центробежная сила, созданная завихрителем, выталкивает капли жидкости к стенкам диффузора, где они отделяются от сухого газа.

Сверхзвуковые вихревые сепараторы обладают рядом преимуществ. Они не имеют подвижных частей, что обеспечивает высокую надежность. Такие сепараторы меньше, дешевле, легче и выделяют меньше выбросов чем другие установки НТС [1]. Сверхзвуковой сепаратор предотвращает проблемы с гидратами и устраняет необходимость в системах ингибиторов и регенерации из-за короткого времени пребывания в устройстве, обеспечивая экологически безопасное оборудование [2].

В настоящее время выделяют два типа сверхзвуковых сепараторов.

«Twister I» - сверхзвуковой сепаратор с обратной циклонной заменой, особенностью которого является размещение завихрителя за соплом Лавалья (рис. 1). Он разработан компанией Twister BV [[2], [3], [4]].

При этом технология обладает следующими недостатками: а) ударение капель жидкости о лопасти завихрителя со сверхзвуковой скоростью, что вызывает его эрозию; б) невозможность контролировать расход газа через сепаратор; в) малая длина диффузора не позволяет всем каплям жидкости достигнуть его стенки и отделиться от сухого газа; г) значительные потери давления (30%).



Рис. 1 Принципиальная схема сепаратора «Twister I» [1]

Supersonic Swirling Separation («3S»), который был разработан группой российских инженеров (В. И. Алферов и др.). Особенностью 3S-сепаратора является вихревое устройство, установленное на входе в сопло Лавалья (Рис. 2), что позволяет: а) решить проблему высокого износа лопастей завихрителя; б) повысить эффективность сепарации за счет увеличения длины пути завихренного потока; в) регулировать расход газа с помощью изменения частоты вращения завихрителя; г) обеспечить разделение компонентов с отбором 90-95% пропана и около 60% метана [5].

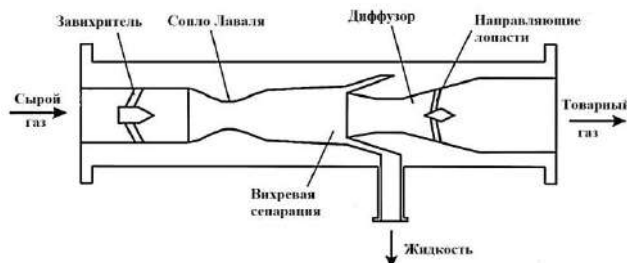


Рис. 2 Принципиальная схема 3S-сепаратора [1]

Недостаток данного сепаратора состоит в том, что использование сверхзвукового сопла Лавалья ограничивает его практическое применение. При малых оборотах завихрителя данное сопло будет разрушать закрученный поток. Поскольку вихрь становится слабым, капли не достигают щелей в стенках диффузора и покидают сепаратор вместе с газом.

В связи с наличием описанных недостатков сепараторов проводятся работы по их устранению. В частности, проблема разрушения вихря была решена А. Борисовым и соавторами посредством использования другого сопла [6], также Esam I. Jassim провел работу над геометрией сопла, что позволило добиться лучшей эффективности сепарации [7].

В России и за рубежом проводятся испытания по применению сверхзвуковых вихревых сепараторов при разработке газовых и газоконденсатных месторождений. Экспериментальная испытательная установка в провинции Альберта, Канада, показала, что установка сверхзвукового сепаратора потребляет на 10-20% меньше мощности компрессора, чем установки, использующие клапан Джоуля-Томсона или турбодетандер, на основе того же уровня извлечения [8]. Также данная технология была испытана и в России на базе предприятия ООО «Газпром добыча Ямбург» [9]. Кроме того, в нефтегазовой отрасли Китая установки 3S сепараторов уже находят успешное применение.

Результаты испытаний показывают, что замена клапана Джоуля-Томсона на блок сверхзвуковой газодинамической сепарации на существующих установках НТС позволяет упростить конструкцию установок подготовки газа и повысить степень извлечения жидких углеводородов из скважинной продукции. Это говорит о перспективах использования установок ГДС в промышленной подготовке природного газа к транспорту. Благодаря ряду преимуществ, сверхзвуковые вихревые сепараторы способны полностью заменить существующие технологии НТС.

#### Литература

1. Xuewen Cao, Jiang Bian. Supersonic separation technology for natural gas processing: A review// Chemical Engineering and Processing - Process Intensification, 136 (February 2019), pp. 138-151.
2. J. Brouwer, H. Epsom. Twister supersonic gas conditioning for unmanned platforms and subsea gas processing// Offshore Europe Conference 2003
3. M. Betting, T. Van Holten, C.A. Tjeenk Willink. US Patent, 6,513,345, April 2 (2003).
4. M. Betting, H.D. Epsom. Supersonic separator gains market acceptance// World Oil, 254 (2007), pp. 197-200
5. Алферов В. И., Багиров Л. А. и др. Устройство для разделения компонентов газовых смесей // Патент РФ 2133137, 20.07.1999.
6. A. Borissov, G. Mirzoev, V. Shtern. Supersonic swirling separator 2 (Sustor2)// Patent US8790455B2, 29.07.2014.
7. Esam I. Jassim. Geometrical Impaction of Supersonic Nozzle on the Dehumidification Performance During Gas Purification Process: an Experimental Study// Arabian Journal for Science and Engineering, 44 (2019), pp.1057–1067.
8. Alfuyorov V., Bagirov L, Dmitriem L., Feygin V., Imaye S., Lacey J.R. Supersonic nozzle efficiently separates natural gas components// Oil and Gas Journal, 103 (May 2005), pp. 53-58.
9. Корытников Р.В., Яхонтов Д.А., Багиров Л.А., Имаев С.З. Использование энергосберегающей технологии сверхзвуковой сепарации газа на газоконденсатных месторождениях Крайнего Севера// Экспозиция нефть и газ, 1 (40) 2015, стр. 34-38.

### ОСОБЕННОСТИ БОРЬБЫ С ПЕСКОПРОЯВЛЕНИЕМ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ТУРКМЕНИСТАНА

С.С. Тачева

Научный руководитель - старший преподаватель Ю.А. Максимова  
**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск, Россия**

Борьба с выносом песка в скважины является одной из давних проблем известных в нефтепромышленности. Пескопроявление в скважинах часто возникает при эксплуатации нефтяных месторождений Туркменистана, Азербайджана, Краснодарского края, Западной Сибири, Индонезии, Западной Африки и других. Песок выносится из пласта на забой скважины под воздействием фильтрационного напора при градиенте давления. С выносом песка необходимо учитывать ряд причин, связанных со структурой нефтеносного пласта. Помимо этого, существуют некоторые причины пескопроявления, которые делятся на три группы:

- геологические: глубина залегания продуктивного пласта и пластовое давление; степень сцементированности породы пласта и естественная проницаемость; характер добываемого флюида и его фазовое состояние; внедрение подошвенных вод в залежь и растворение цементирующего материала;
- технологические: величина депрессии и регрессии на пласт; дебит скважины; скин-эффект;
- технические: вид конструкции забоя скважины; при перфорированном забое, интервалы вскрытия пласта и состояние перфорационных каналов (рис.1).



Рис. 1 Причины пескопроявления в скважину