

УДК 622.276.04

Т.А. Мокшаев, С.В. Греков

Опыт применения и перспективы развития систем подводной сепарации нефти и газа

Разработка систем подводной сепарации нефти и газа является перспективной с точки зрения совершенствования технологий подводной добычи углеводородов. По мере освоения все более удаленных от берега морских месторождений, расположенных соответственно на больших глубинах, возрастают требования к технологическим операциям, которые необходимо выполнить под водой в непосредственной близости от устьев скважин. Целью развития систем подводной добычи на современном этапе является создание полностью подводного промысла, оборудование которого обеспечивает высокую степень подготовки скважинной продукции.

В последние десять лет происходит активное развитие технологий подводной подготовки скважинной продукции [1]. Размещение технологического оборудования на морском дне в непосредственной близости от устьев скважин позволяет более эффективно осуществлять разработку месторождения, в частности:

- поддерживать необходимое для добычи тяжелой нефти давление на устье;
- повышать давление на входе во внутривнепромысловую систему сбора для месторождений с низким пластовым давлением;
- снижать риски, связанные с гидратообразованием в системе сбора;
- обеспечивать эффективную добычу нефти при повышении уровня обводненности за счет использования сепараторов нефть/вода;
- более гибко подходить к проектированию верхних строений морских платформ за счет размещения части технологического процесса на морском дне;
- значительно снижать эксплуатационные затраты за счет подбора оптимального дожимного оборудования (применение однофазных насосов взамен многофазных).

На сегодняшний день технология подводной сепарации успешно применяется и на только вводимых в эксплуатацию месторождениях, и на месторождениях, где добыча осуществляется уже достаточно длительное время. Для таких «зрелых» месторождений уровень добычи, коэффициент извлечения и, как следствие, общая экономическая эффективность могут быть увеличены за счет продления периода эксплуатации уже существующей технологической инфраструктуры. Например, сепарация попутной воды с ее последующей закачкой в пласт позволит повысить производительность трубопроводов и райзеров и исключить необходимость модернизации технологического оборудования на верхних строениях платформы. При разработке новых месторождений система подводной добычи может быть сразу спроектирована с учетом реализации первичной сепарации на морском дне, в результате чего могут быть снижены требования к производительности аналогичного оборудования на морской платформе.

Технология подводной сепарации наиболее привлекательна при освоении удаленных и глубоководных месторождений, поскольку, с одной стороны, способна обеспечить их ускоренный ввод в эксплуатацию, а с другой стороны, приводит к повышению коэффициента извлечения нефти и газа. В ряде случаев использование подводных сепараторов позволяет существенно увеличить гибкость проекта и повысить его экономическую эффективность.

На сегодняшний день в мире применяется несколько технологий первичной подводной сепарации:

- двухфазная сепарация жидкость/жидкость, реализуемая с применением традиционных гравитационных сепараторов достаточно большого размера или с помощью компактных сепараторов (кессонной конструкции или внутритрубных);

Ключевые слова:
глубоководное месторождение, подводный сепаратор, подводное технологическое оборудование, двухфазная сепарация, утилизация песка.

Keywords:
deep-sea field, submarine separator, submarine process equipment, two-phase separation, sand recycling.

- двухфазная сепарация газ/жидкость (реализуется аналогично предыдущей технологии);
- трехфазная сепарация.

Технологии двухфазной сепарации на сегодняшний день прошли необходимую квалификацию и проверены в эксплуатации на месторождениях Tordis и Pazflor. Одной из первых реализованных концепций подводной подготовки продукции скважин является технология сепарации воды из нефти с последующей закачкой отсепарированной воды в пласт. Первый прототип подводного сепаратора нефть/вода был испытан на месторождении Troll еще в 1999 г.

К более современным решениям можно отнести систему подводной сепарации нефти, которая установлена на месторождении Tordis в Северном море в 2007 г. (рис. 1). Изготовителем сепарационной системы является компания FMC Technologies. В данном проекте реализован компактный гравитационный сепаратор длиной 17 м и диаметром 2,1 м. Опыт эксплуатации сепаратора на месторождении Tordis показывает, что разработанная конструкция позволяет достигать остаточного содержания нефти в воде 500 ppm, что существенно превышает проектное значение 1000 ppm. Качество

воды после сепаратора является достаточным для ее закачки в утилизационный пласт.

Подводные сепараторы газ/жидкость, как правило, применяются в тех случаях, когда дифференциального давления, обеспечиваемого подводными многофазными насосами, недостаточно для решения проектных задач [2]. Такое возможно вследствие значительной удаленности месторождения от платформы или берега, при освоении глубоководных месторождений или же в случаях, когда характеристики добываемого флюида приводят к возникновению нестабильного потока в трубопроводной системе.

В конструкцию гравитационного сепаратора газ/жидкость включена емкость сравнительно большого размера. Данное обстоятельство непосредственно влияет на процессы изготовления, транспортировки и монтажа сепаратора на морском дне, а также на его стоимость и в определенных случаях может ограничивать возможность применения таких сепараторов на глубоководных месторождениях. Влияние указанных ограничений необходимо рассматривать в каждом отдельном случае с учетом условий конкретного проекта. Так, несмотря на значительную глубину воды



Рис. 1. Сепаратор проекта Tordis

(порядка 900 м), на месторождении Pazflor шельфа Анголы были установлены 3 сепарационные установки газ/жидкость, имеющие высоту 9 м при диаметре 3,5 м. Данное решение оказалось экономически эффективным и позволило компании-оператору успешно разрабатывать месторождение, характеризующееся низким пластовым давлением и тяжелой высоковязкой нефтью.

Для самого глубоководного на сегодняшний день проекта Perdido в Мексиканском заливе компания FMC Technologies изготовила сепарационную установку кессонного типа (рис. 2). Конструкция предполагает использование специальной скважины-кессона (для обеспечения процесса сепарации в заколонном пространстве) и электрического погружного центробежного насоса для подачи отсепарированной нефти на платформу с целью последующей подготовки.

Проект Marlim на шельфе Бразилии (рис. 3) – еще один показательный пример успешного применения технологии подводной сепарации на глубоководном месторождении. Пилотный проект предполагает использование на 1-й ступени внутритрубного сепаратора с последующей тонкой очисткой воды на 2-й ступени сепарации с помощью гидроциклонов. Такое решение позволяет обеспечить уровень остаточного содержания нефти в воде менее

100 ppm, что делает возможным ее использование в системе поддержания пластового давления.

Помимо обеспечения более эффективного режима работы подводных насосов, применение подводных сепараторов позволяет решать вопросы обеспечения стабильности потока за счет исключения пробкового режима течения



Рис. 2. Сепарационная установка проекта Perdido

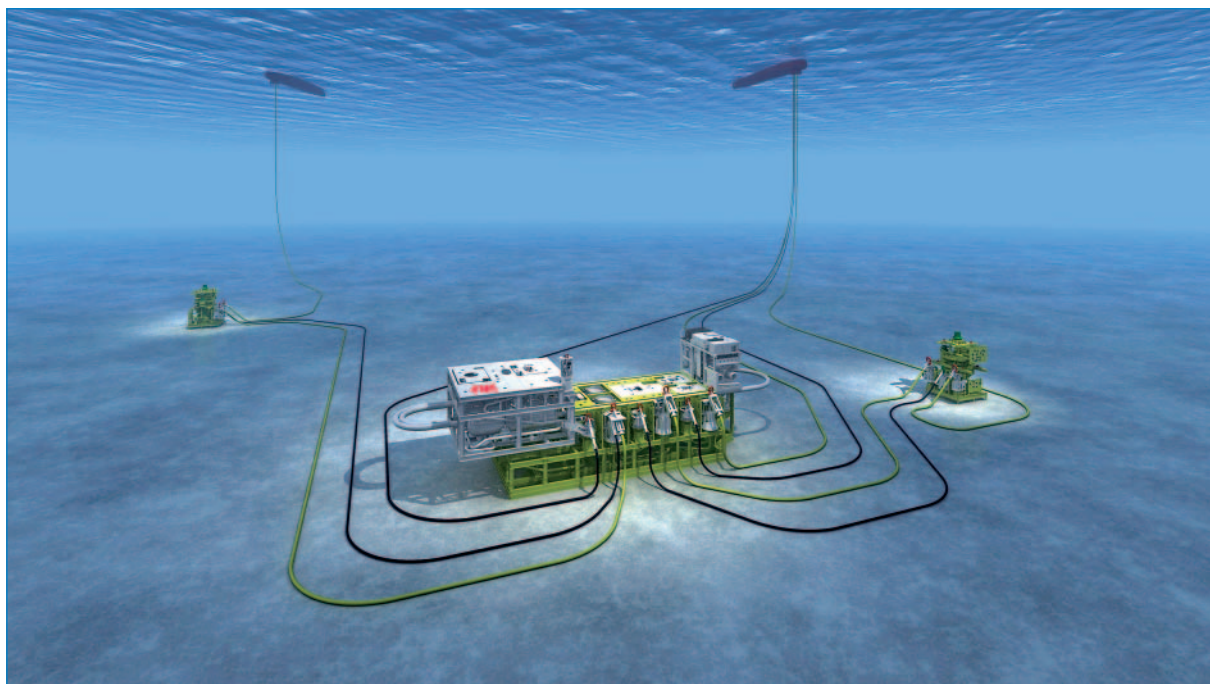


Рис. 3. Сепарационная установка проекта Marlim

флюида. Дополнительным преимуществом наличия двух разных трубопроводов, используемых для раздельной транспортировки отсепарированных потоков жидкости и газа, является потенциальная возможность реализации кругового прогона поршня для очистки или инспекции трубопроводов, для чего поршень запускается по газопроводу, а возвращается по трубе с жидкостью. При этом, безусловно, следует учитывать соответствие диаметров данных линий.

При проектировании подводного сепаратора одним из основных вопросов является обеспечение утилизации выносимого с продукцией скважин песка. Возможны различные технические решения, в соответствии с которыми собирающийся в сепараторе песок может закачиваться с водой в нагнетательную скважину или вновь объединяться с нефтью и транспортироваться на платформу или берег.

В то время как системы двухфазной сепарации находят все большее применение в подводных проектах, в отношении систем трехфазной сепарации требуется продолжение работ по квалификации оборудования как единого технологического комплекса, несмотря на то что входящие в эту систему элементы уже применяются на практике.

Помимо рассмотренных выше систем первичной сепарации, сегодня разрабатываются

такие системы для последующих стадий сепарации, как:

- скрубберы для очистки газа после первичной сепарации;
- оборудование для удаления остаточных капель воды из нефти с дальнейшей закачкой отсепарированной воды.

На сегодняшний день представители нефтегазовой отрасли, участвующие в разработке проектов освоения месторождений с использованием подводных технологий, отмечают, что, несмотря на значительные достижения в развитии технологии подводной сепарации (рис. 4), в том числе по вторичной осушке газа и подготовке воды, еще необходимо выполнить большой объем работы [3]. В частности, имеется значительная потребность в обеспечении процесса одновременной подготовки нефти для надежного трубопроводного транспорта на значительные расстояния и подготовки воды для последующего безопасного и экологичного нагнетания в пласт с целью поддержания пластового давления. В настоящее время на рынке нет систем, эффективно решающих эти две задачи одновременно. В перспективе такая система при использовании совместно с подводными насосами позволит осуществлять эффективную сепарацию скважинной продукции на протяжении всего периода эксплуатации месторождения. Это в свою очередь поможет решить



Рис. 4. Основные направления развития технологии подводной сепарации

задачи надежной транспортировки нефти на значительное расстояние, поднятия нефти глубоководных месторождений на расположенную на поверхности технологическую платформу, а также реализовать закачку воды сепарации непосредственно на морском дне.

Востребованная на рынке система должна соответствовать как минимум следующим критериям:

- работать в широком диапазоне обводненности скважинной продукции (как правило, 10–90 %) для обеспечения эффективной работы на протяжении всего срока разработки месторождения;
- обеспечивать стабильность потока при транспортировке, для чего содержание воды в нефти должно составлять менее 2 % для снижения риска образования гидратов в подводных трубопроводах в условиях постоянной низкой температуры на морском дне;
- обеспечивать необходимый уровень качества воды для закачки согласно нормам остаточного содержания нефти в воде (менее 100 ppm) в зависимости от характеристик пласта и требований местного законодательства;
- иметь компактные размеры для обеспечения транспортировки, снижения металлоемкости и стоимости монтажа.

В числе прочего основными задачами при создании подобной системы являются подбор,

адаптация, а при необходимости и разработка наиболее подходящих узлов и элементов для каждого технологического процесса, в том числе обеспечение их слаженной, эффективной и безотказной работы на протяжении проектного срока службы. Дополнительно следует учитывать необходимость проведения тщательных тестовых и квалификационных испытаний перед применением данной системы в реальных условиях месторождения.

Надлежит отметить, что для развития технологии подводной сепарации существенным обстоятельством является число планируемых к реализации проектов, которые требуют применения новых технических решений, и готовность операторов участвовать в разработке новых технологий. Достаточно эффективным решением является участие оператора в инвестициях в дорогостоящие разработки и квалификацию новой технологии для получения в итоге надежного продукта, созданного с учетом требований проекта и максимально отвечающего проектным условиям. Мировой опыт освоения шельфовых месторождений показывает, что объединенные производственные программы с участием нескольких нефтегазодобывающих компаний облегчают инвестору принятие такого решения, поскольку позволяют разделить не только затраты, но и риски в будущем.

Список литературы

1. Van Khoi V. Comparison of subsea separation systems / V. Van Khoi, R. Fantoft, Ch. Shaw, H. Gruehagen // Offshore Technology Conference OTC 20080: proceedings. – 2009.
2. Schlumberger G.H. Comparison of multiphase pumping technologies for subsea and downhole applications / G.H. Schlumberger, G. Falcone, G.L. Morrison // Oil and Gas Facilities Magazine. – 2012. – February.
3. Hannisdal A. Compact separation technologies and their applicability for subsea field development in deep water / A. Hannisdal, R. Westra, M.R. Akdim, A. Bymaster, E. Grave, D. Teng // Offshore Technology Conference OTC 23223: proceedings. – 2012.