

# На суше и под водой: капсулированный компрессорный агрегат STC-ECO компании Siemens

**В. В. Дуриманов, С. А. Леонтьев – ООО «Сименс»**

**В. В. Седов – ОАО «Газпром»**

Отсутствие уплотнений, повышенная безопасность, увеличенное время безотказной работы, нулевые выбросы и периодичность техобслуживания 5 лет – таковы основные преимущества капсулированного компрессорного агрегата STC-ECO, созданного компанией Siemens.

## IN BRIEF

### **Siemens STC-ECO canned compressor unit.**

*With its STC-ECO, Siemens introduce an integrated motor compressor unit specifically developed for dirty, hazardous and toxic gas compression onshore and offshore – areas where seal system reliability bears heavily on asset availability. With its hermetically sealed, fully canned design, the STC-ECO ensures optimum leverage from production and processes through a full five-years' maintenance interval.*

*It is available in four different frame sizes – 7.5, 10, 15, 20 MW.*

*All of them are developed on the base of one technological platform and are unified by common conception.*

**А**ббревиатура STC-ECO (Siemens Turbo Compressor, Electrical, Canned and Oil-free) означает «Турбокомпрессор Siemens с электроприводом в герметичной оболочке, без маслосистемы». Компрессоры мощностью 7,5; 10; 15 и 20 МВт строятся на единой технологической платформе и объединены одной общей концепцией. Данные агрегаты принципиально новой конструкции предназначены для надежного компримирования обычных, агрессивных и сильно загрязненных газов на удаленных месторождениях, морских платформах и на подводных промыслах.

Конструкция агрегата представляет собой пространственную раму, внутри которой размещаются модули систем обеспечения, единый герметичный корпус компрессора и электропривода с единым ротором на магнитных опорах.

Такая конструкция позволила исключить систему смазочного масла и торцевые уплотнения, что повысило надежность работы агрегата, увеличило период технического обслуживания до 5 лет, а также обеспечило соответствие самым жестким требованиям эксплуатации.

Снижение стоимости разведки, добычи и транспорта газа на труднодоступных месторождениях, а также на шельфовых нефтегазовых промыслах, расположенных в неблагоприятных географических условиях, остается предметом глубокого обсуждения специалистов нефтегазовой отрасли на всех уровнях. Фактически вопрос сводится к тому, насколько это возможно при современном уровне компрессорных технологий.

Для ответа на этот вопрос специалистам Siemens пришлось глубоко изучить опыт работы различных компаний нефтегазовой отрасли по всему миру, а также их требования, предъявляемые к оборудованию и условиям его эксплуатации.

Фактически стоимость разведки углеводородных ресурсов, обустройства месторождений и эксплуатации технологических систем на удаленных и труднодоступных месторождениях – огромна. Это тем более справедливо для проектов на шельфе. Ключевым фактором для достижения экономической эффективности в таких условиях является надежность работы основного технологического оборудования, достаточная для обеспечения непрерывной эксплуатации в течение не менее пяти лет.

Применяемые до настоящего момента системы внутрипромыслового сбора газа на морском дне представляют собой «статичные» конструкции, не включающие в себя вращающееся оборудование. Однако для подводного компримирования газа и его транспорта на дальние расстояния или с больших глубин требуются высокоскоростные машины – центробежные компрессоры с электроприводами, системами охлаждения, средствами управления и т.д. Все это значительно усложняет промышленные системы, размещаемые под водой.

Применение обычного компрессорного оборудования в таких условиях невозможно. Единственным решением является использование



➔ Компрессор STC-ECO

герметичного компрессорного агрегата со встроенным электроприводом. Перспективность этого направления понимают многие производители комплектного оборудования: десятки герметичных компрессорных агрегатов уже доказали свою работоспособность в условиях береговых систем сбора, транспорта, распределения и хранения газа. Однако все эти агрегаты работают только со специально подготовленным и очищенным природным газом. В реальных же условиях добычи проходящий через компрессор газ содержит всевозможные виды примесей, включая воду и конденсат, сероводород и другие соединения серы, ванадий, калий, ртуть и еще полтаблицы Менделеева, а также камни, песок и прочие абразивные включения и коррозионно-активные агенты.

В герметичных компрессорных агрегатах в качестве охлаждающей среды электропривода используется компримируемый газ, частично отбираемый после первой ступени сжатия и направляемый обратно на вход компрессора. Такая схема показала свою надежность только при работе с хорошо подготовленным газом, прошедшим глубокую очистку.

При добыче углеводородов использовать такой способ без особых мер предосторожности невозможно. Неочищенный газ из устьевого обвязки вызывает быстрое образование отложений на горячих частях двигателя, что выводит его из строя, подвергает обмотки статора неизбежному риску короткого замыкания, приводит к отказам магнитных подшипников.

### Концепция Siemens

Для решения данной проблемы компания Siemens в несколько этапов создала принципиально новый агрегат. Внутри пространственной рамы размещаются модули систем обеспечения, единый герметичный корпус компрессора и электропривода с общим ротором на магнитных опорах.

Секция частотно регулируемого электропривода располагается в верхней части агрегата, а сам компрессор — непосредственно под ним. Электропривод и компрессор имеют единый монолитный вал, установленный в двух герметичных радиальных активных магнитных опорах, причем верхняя скомпонована с осевым магнитным подшипником. Все активные электромагнитные подшипники герметически изолированы от рабочего газа.

Единый герметичный корпус и применение магнитных подшипников позволяют исключить из конструкции газовые уплотнения вала и систему масляной смазки — два компонента, наиболее влияющие на показатели надежности агрегата.



С Единый монолитный вал  
электродвигателя  
и компрессора

Секция компрессора, выполненная по типу «баррель», включает наружный прочный герметичный корпус с радиальным фланцевым разъемом на болтовых соединениях и внутренний корпус проточной части с ротором и рабочими колесами. При использовании компрессорных агрегатов на суше или на морских платформах фланцевый разъем обеспечивает выемку секции электропривода и проточной части компрессора без демонтажа трубопроводов, входного и выходного патрубков. При подводном применении агрегата радиальный фланец разъема корпуса исключается, так как стратегия эксплуатации и технического обслуживания предполагает, что модуль компрессора будет подниматься со дна целиком.

Освоенные размерности наружных корпусов и проточных частей компрессора позволяют устанавливать на валу до шести рабочих колес друг за другом или в сдвоенной конфигурации. Это относится к модели LP, рассчитанной на низкие давления. В модели HP, предназначенной для работы на высоких и очень высоких давлениях, вал компрессора и вал двигателя выполнены отдельно, соединены между собой муфтой, и в конструкцию введены две дополнительные активные электромагнитные опоры вала. Это позволило увеличить количество рабочих колес компрессора до восьми, оставаясь полностью в пределах жестких требований роторной динамики.

Лобовые части статорных обмоток асинхронного двигателя имеют изгибы под углом 90°, таким образом длина вала максимально используется под секцию компрессора, что снижает ограничения по размеру и количеству рабочих колес.

Медные обмотки короткозамкнутого ротора асинхронного двигателя вложены и зафиксированы внутри вала и имеют специальное защитное покрытие — это позволяет им безопасно соприкоснуться с неочищенным газом внутри корпуса компрессорного агрегата.



**Сборка компрессора на предприятии Siemens**

Первичным рабочим телом первого контура охлаждения статора электродвигателя выбран компримируемый газ без какой-либо подготовки, отбираемый после первой ступени компрессора. К сожалению, в настоящее время для изоляции обмоток электропривода и металлических частей магнитных опор не производится лак, обладающий долговременной стойкостью к агрессивной среде. Это учитывалось при подходе к конструированию агрегата: «любые элементы электрических систем должны быть изолированы от негативного воздействия неочищенного газа».

Именно поэтому статор электропривода отделен от прямого воздействия неочищенного газа специальным изолирующим «стаканом», а активные электромагнитные подшипники заключены в герметичный кожух. Кроме того, охлаждение обмоток статора осуществляется отдельным рабочим телом вторичного охлаждающего контура, которое, в свою очередь, охлаждается при помощи внешнего водомасляного теплообменника. В качестве вторичного рабочего тела первого контура охлаждения используется стандартное трансформаторное масло Midel 7131.

Изолирующий стакан статора, который устанавливается в зазор между статором и ротором, представляет собой неметаллическую композитную оболочку, также предотвращаю-

щую образование вихревых токов. В настоящее время Siemens разработала и внедрила изолирующие стаканы второго поколения, базирующиеся на опыте работы компрессорного агрегата ECO-II.

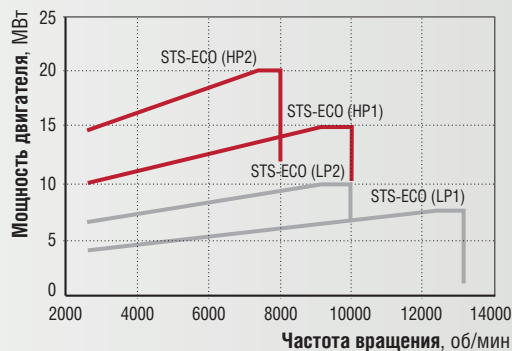
Вторичное рабочее тело первого контура охлаждения (трансформаторное масло) используется в качестве первичного рабочего тела второго контура охлаждения. Для внешнего охлаждения масла используется холодная вода – пресная или морская, применяемая в качестве вторичного рабочего тела второго контура охлаждения. При эксплуатации компрессорных агрегатов на суше или на морских платформах внешнее охлаждение холодной водой не представляет проблемы, однако при использовании их под водой возможно засорение вторичного контура охлаждения отложениями органического происхождения.

В настоящее время Siemens в сотрудничестве с компанией FMC ведет расширенные исследования по оценке пригодности холодной воды во вторичном контуре охлаждения при подводном использовании компрессорных агрегатов STC-ECO.

На первом этапе герметичный компрессорный агрегат нового поколения доказал надежность своей работы в составе добывающих комплексов на суше и на морских платформах. На следующем этапе предусмотрена адаптация его конструкции для подводного применения, что, конечно, требует некоторых модификаций, но они, безусловно, не снижают надежности системы.

Siemens приступила к реализации своего первого проекта в данной области еще в 1999 году, когда компания NAM (принадлежащая на 50 % Shell и на 50 % Exxon) заказала первый компрессорный агрегат без торцевых уплотнений, с уменьшенной занимаемой площадью и увеличенными периодами между обслуживаниями. Данный агрегат предназначался для работы в условиях истощенного

**График зависимости мощности агрегата от частоты вращения**



месторождения на суше без участия обслуживающего персонала.

Экономичный и экологически чистый компрессор ЕСО-II с асинхронным электроприводом мощностью 6,3 МВт и частотным регулированием в диапазоне от 30 до 105 % номинальной частоты вращения 12200 об/мин был спроектирован для данного проекта с нуля. Компрессор ЕСО-II установлен на участке внутрипромыслового сбора газа Vries-4 в северной части месторождения Гронинген в Нидерландах – одного из крупнейших в мире газовых месторождений (входит в TOP 20).

Коммерческая эксплуатация герметичного капсулированного компрессорного агрегата нового поколения началась в ноябре 2006 года. Первоначально предусматривалась остановка агрегата для первой ревизии через шесть месяцев, в мае 2007 года, однако надежная работа машины полностью удовлетворяла эксплуатирующую организацию, и Siemens приняла решение о переносе срока первого регламентного обслуживания еще на полгода, что позволило NAM продолжать безостановочную эксплуатацию до конца года.

Инспекция, проведенная через год с момента запуска агрегата, показала, что все его компоненты находятся в отличном состоянии. Поэтому агрегат был собран без замены каких-либо узлов и передан эксплуатирующей организации для дальнейшей работы.

В апреле 2007 года компании Siemens и StatoilHydro подписали контракт на длительные эксплуатационные испытания подобного компрессора на береговом испытательном полигоне K-Lab с замкнутой циркуляционной системой, расположенном в г. Карсто (Норвегия).

Целью длительных испытаний агрегата в K-Lab является проверка надежности работы и подтверждение рабочих характеристик в самых тяжелых условиях эксплуатации. Программа испытаний включает работу агрегата с неочищенными и неподготовленными газами, добываемыми на морском месторождении, а также со специально приготовленной газовой смесью, имеющей высокое содержание конденсата и воды. Один из этапов испытаний предусматривает затопление компрессорного агрегата морской водой, выдержку в данном состоянии в течение суток, последующую продувку и запуск в работу.

Накопленный опыт эксплуатации в самых тяжелых условиях работы подтвердил преимущества капсулированных компрессорных агрегатов Siemens перед агрегатами традиционной конструкции:

■ Вертикальное расположение рабочей оси компрессорного агрегата STC-ECO поз-

воляет сократить потребную площадь для установки примерно на 40 %, по сравнению с обычными электроприводными редукторными компрессорами горизонтального расположения.

- Компрессоры STC-ECO герметичного типа с частотно регулируемым электроприводом имеют единый ротор привода и компрессора – это существенно сократило металлоемкость трансмиссии, а также повысило эффективность процесса за счет исключения потерь на редукторе.
- Расположение секции электропривода в верхней части агрегата, а самого компрессора непосредственно под ним позволяет извлечь секцию привода вместе с проточной частью компрессора без отстыковки газопровода от входного и выходного патрубков компрессора, расположенных в нижней секции, а также трубопроводов обвязки компрессорного агрегата.
- У компрессоров для подводного применения разъем агрегата по фланцу исключается, и весь модуль компрессора будет подниматься со дна для периодического обслуживания через интервалы не менее пяти лет.
- Наличие общего вала для электропривода и компрессора обеспечивает сокращение общего числа опор.
- Верхний упорный осевой активный магнитный подшипник выполнен в едином корпусе с радиальным и заключен в тот же герметичный кожух, в результате сократилось количество узлов агрегата, а также снизились эксплуатационные затраты.
- Герметичный корпус и применение магнитных подшипников позволяют исключить систему газовых уплотнений и систему

*Месторождение Гронинген открыто в 1959 году, добыча началась в 1963-м. Изначально запасы газа составляли 2700...2800 млрд м<sup>3</sup>, к настоящему моменту извлечено 1700 млрд м<sup>3</sup>, т.е. 60 % запасов уже реализовано. Глубина пласта почти 3 000 м, толщина – около 100 м. Начальное давление в пласте 35 МПа. На 29 кустах пробурено примерно 300 скважин.*

*С начала нефтяного кризиса 1973-1974 гг. месторождение Гронинген находится в резерве, а в первую очередь разрабатываются мелкие месторождения. Такие месторождения обеспечивают примерно 30 % годовой добычи, а Гронинген – 70 %. Если потребность в газе превысит объем добычи на маленьких месторождениях, Гронинген покрывает эту разницу.*

Основная функция месторождения-ПХГ – покрытие пиковых потребностей (зимой) и обеспечение надежного газоснабжения

Дополнительная функция месторождения-ПХГ – хранение газа, добытого летом на малых месторождениях (если объем превышает спрос)

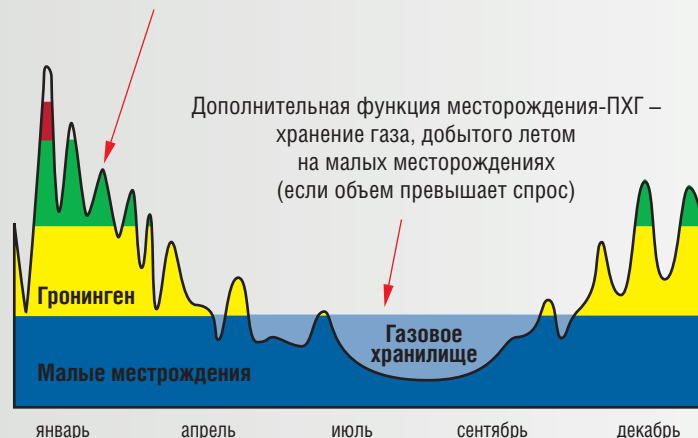


График работы месторождения-ПХГ Гронинген


**Технические характеристики STC-ECO**

Модель	LP1*	LP2	HP1	HP2
Мощность, МВт	7,5	10	15	20
Частота вращения, об/мин	12 200	9 500	9 500	7 600
Диапазон частот вращения (типовой), %	30...105	30...105	30...105	30...105
Количество рабочих колес	до 6	до 6	до 8	до 8
Конфигурация (расположение колес)	друг за другом и сдвоенное			
Конструкция корпуса	1500#	1500#	2500#	2500#
Габариты (ДхШхВ), м	4,8х4,1х4,6	4,8х4,1х4,6	н/д	н/д
Уменьшение опорной поверхности**, %	> 40	> 40	н/д	н/д

\* смонтирован и находится в эксплуатации

\*\* по сравнению со стандартным компрессорным агрегатом, включая конвертер и охлаждающее устройство (2 x 100%)

Все варианты выполнены в соответствии со спецификациями API 617; соответствие требованиям NACE может предлагаться как дополнительная опция.

**Первый капсулированный компрессор на месторождении Гронинген**

масляной смазки – т.е. тех двух основных компонентов, которые имеют максимальную склонность к отказам, приводящим к аварийным остановам агрегатов и снижению надежности и безотказности их работы.

- Все модификации компрессорных агрегатов, как для применения на суше или морских платформах, так и под водой, базируются на стандартной секции с электроприводом. При этом проточная часть и ротор компрессора адаптируются под то или иное применение, обеспечивая необходимую гибкость при реализации проектов, что, в свою очередь, приводит к снижению общих издержек.
- Конструкция агрегата STC-ECO исключает какие-либо специальные ограничения по применяемым материалам, размерам и количеству рабочих колес, таким образом, можно варьировать сочетание рабочих колес и их расположение в зависимости от характеристик газа и содержащихся в нем примесей.
- Герметичность и стойкость к агрессивным средам компрессора STC-ECO позволяют применять его в условиях повышенных требований к безопасности и надежности, например, перед установками абсорбционной осушки газа или системами улавливания летучих компонентов скважин, таких как сероводород, ртуть, гелий и углекислый газ.

**Развитие модельного ряда**

Для покрытия всего диапазона производительности в целевых сегментах нефтегазовой и нефтехимической отраслей, где требуется компримирование неподготовленных и опасных газов, компания Siemens разработала два основных типоразмера STC-ECO: для низких давлений – LP и для высоких – HP. Основным отличием компрессорного агрегата HP

является разделение монолитного единого вала на два и наличие в конструкции промежуточных опор между секциями электропривода и компрессора. Эти опоры оснащены радиальными активными магнитными подшипниками, которые защищены от рабочего газа изолирующими кожухами, как и торцевые опоры. Валы компрессора и электропривода соединены специальной муфтой.

Такое конструктивное решение позволяет увеличить число рабочих колес до восьми, тем самым доведя максимальное давление на нагнетании до 20 МПа. Кроме того, наличие соединительной муфты обеспечивает возможность отстыковки ротора компрессора для проведения обслуживания отдельно от секции электропривода.

**Области применения**

При наличии четырех различных классов мощности (от 7,5 до 20 МВт) компрессорный агрегат можно адаптировать по давлению и номинальной мощности под требования стандартных процессов компримирования неочищенного газа, применяемых при добыче, транспортировке и переработке газа. Области применения STC-ECO – истощенные месторождения, повторное сжатие попутного газа, сепарация газонефтяной смеси, газлифт, сбор газа, создание подпора и др., где традиционно существовали проблемы, связанные с низкой надежностью уплотнений.

Кроме того, в связи с тем что STC-ECO имеют нулевой уровень выбросов, предполагается в дальнейшем использовать их в перерабатывающей промышленности, а именно – для компримирования опасных и токсичных газов, например остаточных газов в нефтехимической промышленности.

## Перспективы

Совершенно очевидно, что уникальное решение, предложенное компанией Siemens, вызывает огромный интерес мировых лидеров нефтегазовой индустрии. Это понятно, поскольку добыча углеводородного сырья ведется во все более и более сложных условиях как в климатическом, так и социально-политическом плане. В этом случае использование компрессорного агрегата, отвечающего условиям его применения на удаленных площадках, в береговых и морских установках и в дальнейшем – под водой, становится едва ли не единственным способом обеспечить эффективную, рентабельную добычу углеводородов.

В настоящий момент Siemens ведет переговоры и заключает договоры с рядом крупных нефтегазовых компаний на поставку STC-ECO для опробования в специфических для той или иной компании условиях. Целью таких эксплуатационных испытаний является оценка применимости капсулированного компрессорного агрегата в будущих проектах, требующих принципиально нового и надежного компрессорного оборудования.

К числу таких проектов можно отнести разработку удаленных месторождений и освоение шельфа, которые проводят крупнейшие российские нефтегазовые компании. Так, применение STC-ECO в суровых арктических условиях, в том числе и для подводного обустройства месторождений, – реальный ответ на потребности столь сложных проектов.

На российском рынке Siemens и Газпром, как современные компании, осуществляющие инновационную политику и использующие самые передовые достижения, совместно прорабатывают возможность применения капсулированных компрессорных агрегатов в газовой отрасли. Так, в конце 2009 года для оценки перспектив дальнейшего использования STC-ECO был подписан двусторонний протокол о возможности применения технологии на конкретных объектах ОАО «Газпром». Стороны рассматривают различные варианты и предложения производителя.

Таким образом, можно констатировать, что продвижение принципиально новой технологии компрессорных агрегатов без системы уплотнений и систем смазки приобрело широкий резонанс, и в ближайшем времени при сжатии неподготовленных, агрессивных и опасных газов будут использоваться агрегаты, построенные в соответствии с концепцией, сформулированной при создании STC-ECO. **TD**



## II Международный форум ENERGY FRESH 2010



23-24 сентября 2010 года  
Москва. Экспоцентр. Павильон №7

### ТЕМЫ КОНГРЕССА:

Развитие энергосберегающих и энергоэффективных технологий в различных секторах экономики

Экономическое обоснование проектов по внедрению ВЭИ

Опыт эксплуатации реализованных проектов

Готовые решения для муниципальных органов, департаментов ЖКХ и промышленности

Организатор



the Retail Finance

Тел. +7 (495) 788-88-91  
Факс +7 (495) 788-88-92  
info@rfinance.ru  
www.energy-fresh.ru

### РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

Солнечная энергетика

Ветроэнергетика

Биотопливо

Энергосбережение

Энергоэффективные технологии

Электротранспорт

Генеральный медиа-партнер

**ИЗВЕСТИЯ**