

УДК 621.313:62-233.2+622.324

ОСОБЕННОСТИ И ОПЫТ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОДШИПНИКОВ ДЛЯ СЕРИИ КОМПРЕССОРОВ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

А.П. Сарычев
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)

Рассматриваются вопросы, связанные с особенностями проектирования конструкции, испытаний и опытом внедрения электромагнитных подшипников (ЭМП) в газовые компрессоры. Предложена унифицированная конструкция электромагнитных опор для газовых компрессоров. Определены параметры узлов ЭМП при приемосдаточных испытаниях. Приведен многолетний опыт создания, эксплуатации и внедрения компрессоров с ЭМП на компрессорных станциях.

Ключевые слова: электромагнитный подшипник, конструкция ЭМП, параметры узлов ЭМП, комплексный стенд, опытный образец, конструкторская документация, серийные образцы, компрессорная станция.

В данной статье рассматриваются вопросы создания оптимальной конструкции электромагнитных подшипников (ЭМП) для газовых компрессоров различной мощности, определяются параметры при приемосдаточных испытаниях узлов ЭМП, и приводится опыт создания и внедрения компрессоров с ЭМП на объектах ОАО "Газпром".

Особенности создания ЭМП для серии компрессоров ГПА

Опыт разработки, испытаний и эксплуатации первого отечественного компрессора с ЭМП для агрегата ГПА-Ц-16, а также расчеты, проведенные для ЭМП компрессоров мощностью 2,5 – 25 МВт, показали, что [1]:

- изгибные формы колебаний ротора компрессора оказывают сильное влияние на работоспособность системы подвеса и могут приводить к возбуждению системы управления ЭМП;
- конструкция узлов ЭМП должна давать возможность снижать влияние изгибных форм на работу подвеса;
- конструкция узлов ЭМП должна допускать быструю и многократную сборку, разборку и замену узлов ЭМП в условиях компрессорной станции (КС).

Для уменьшения влияния изгибных форм ротора на работу компрессора было предложено в сочетании с электронным демпфированием применить механический способ, создав новую конструкцию магнитной опоры.

При этом способе:

- при установке радиальных датчиков положения ротора магнитного подвеса в узлах или вблизи узлов изгибных форм ротора амплитуда колебаний этих форм либо равна нулю, либо имеет малую величину;
- при работе регулятора блока управления ЭМП в области частот изгибных форм колебаний ротора

различное взаимное расположение радиальных датчиков подвеса и электромагнитов относительно узлов изгибных форм по-разному сказывается на устойчивости подвеса.

Чем ближе радиальный датчик к узлу, тем меньше коэффициент возбудимости конкретной формы под датчиком, и естественно, смещение ротора в магнитном подвесе от этой изгибной формы.

В предлагаемой новой конструкции электромагнитной опоры для уменьшения влияния изгибных форм вводятся дополнительные радиальные датчики, каждый из которых устанавливается в узле или вблизи первых трех форм изгибных колебаний ротора.

Радиальные датчики положения ротора ЭМП размещают не рядом друг с другом, а чередуя их между осевым и радиальным электромагнитом для возможности создания различного взаимного расположения между радиальным электромагнитом и датчиками ЭМП вдоль узлов изгибных форм. Конструкция такой опоры [2] со стороны свободного конца вала компрессора представлена на рис. 1. На валу ротора компрессора устанавливаются три ротора 1 для датчиков положения. Осевые датчики, установленные во втулке 2, работают с поверхностями выступов 3, а радиальные с поверхностями 4. Выполнение магнитной опоры с двумя или тремя роторами датчиков и различным взаимным расположением относительно электромагнитов подвеса позволяет обеспечить сопряжение радиальных датчиков с тем из роторов, в месте расположения которого автоколебания в подвесе меньше, чем в местах установки других датчиков. Блок радиальных датчиков устанавливается в необходимое место, что сохраняет унификацию радиальных кана-

лов ЭМП и блоки управления в целом, и является важным требованием для аппаратуры газовых КС. Расположение подвижных осевых датчиков в независимой втулке на доступном для работы краю опоры позволяет производить регулировку осевых датчиков даже при взвешенном роторе.

Предлагаемая конструкция для серии компрессоров ГПА является унифицированной для компрессоров различной мощности и допускает быструю и многократную сборку и разборку ЭМП.

Вопросы организации приемосдаточных испытаний при серийном выпуске электромагнитного подвеса для компрессоров ГПА

Учитывая заявленные высокие требования к параметрам системы подвеса, в том числе датчиков, электромагнитов и электронного блока, была предложена такая последовательность проверок [3], при которой на этапе приемосдаточных испытаний проводятся испытания каждого узла на своем испытательном оборудовании, затем комплекта ЭМП в целом.

По испытаниям датчиков было определено, что приемку радиальных и осевых блоков датчиков (в которые установлены датчики положения)

в условиях серии необходимо осуществлять по следующим параметрам:

- по допустимой области расположения основной характеристики датчика – его напряжения U_d от перемещения ротора x ;
- по крутизне K_d и нулевому сигналу датчика U_0 .

При этом под датчиком понимается два противоположных датчика положения, установленных в блоке датчиков под 180° .

Для проверок блоков датчиков был разработан и изготовлен специальный стенд, в котором сам блок датчиков фиксируется неподвижно в обойме, а ротор имеет возможность совершать перемещения, контролируемые индикаторами. При смещении ротора измеряются сигналы датчиков U_{di} , U_0 , и определяется крутизна K_{di} .

Приемку радиальных и осевых электромагнитов в условиях серии также необходимо осуществлять по допустимой области расположения его основной характеристики – зависимости силы от тока в обмотках $F(I)$, и по величине основных параметров с заданными допусками. Основные принятые параметры электромагнита:

- постоянная времени обмотки при центральном положении ротора T_0 ;

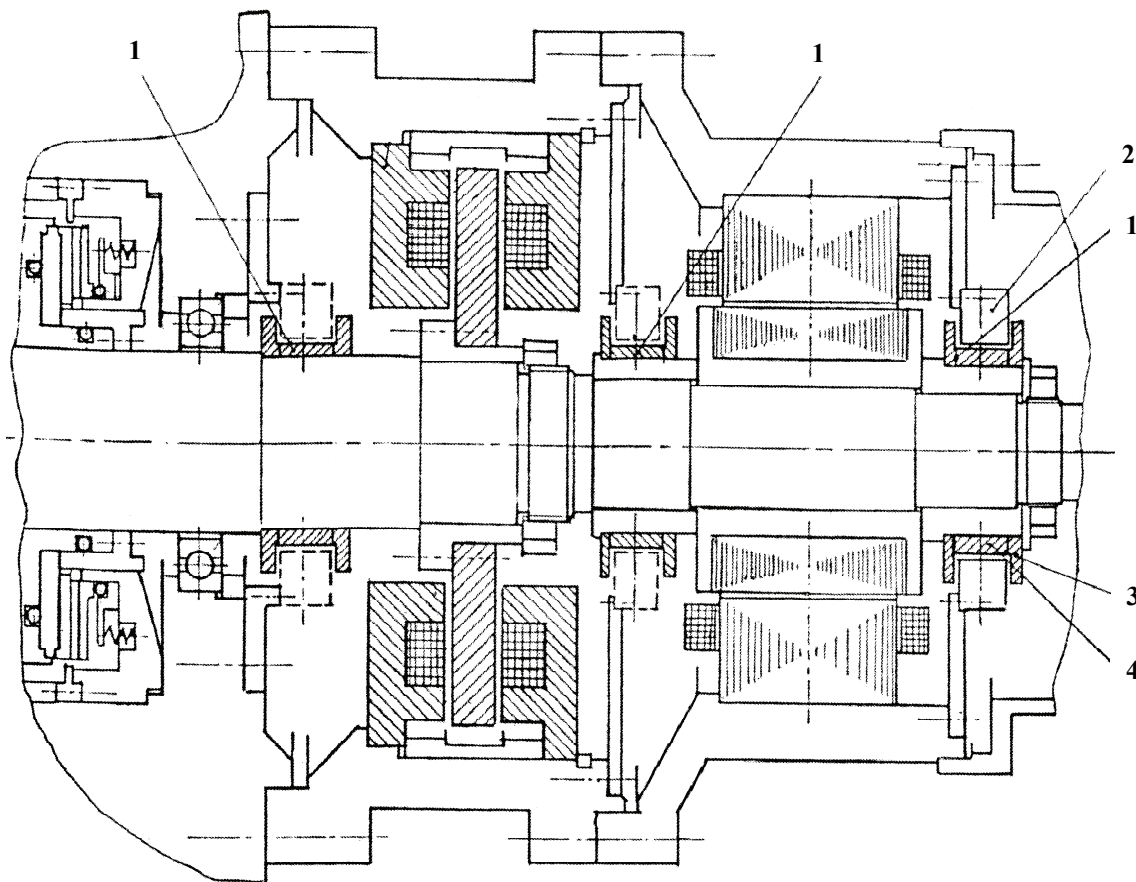


Рис. 1. Магнитная опора для агрегата

- максимальная грузоподъемность при максимально допустимом токе зоны F_{\max} ;
- коэффициент перекрестной связи χ для радиальных подшипников;
- полоса пропускания электромагнита W_n .

Для снятия характеристик радиальных ЭМП был разработан специальный стенд с возможностью нагружения по осям x и y через систему шкивов и измерения по этим осям перемещений с помощью индикаторов.

Для определения основных параметров электромагнит центрируется в расточке статора, после чего определяются T_{0i} , $F_{\max i}$, χ_i , W_{ni} (где i – число каналов).

Данные параметры могут определяться и при включенном блоке управления. Характеристики и параметры осевого ЭМП определяются аналогично, но на комплексном стенде, где есть возможность центрирования подшипника и его нагружения при проведении работ по комплекту ЭМП.

Приемку аппаратуры управления было принято проводить по допустимой области расположения статических и динамических характеристик блока при работе на эквивалентную нагрузку в виде реального электромагнита или его эквивалента при разомкнутом контуре ЭМП.

Основные статические параметры блока:

- крутизна силовой характеристики при центральном положении ротора;
- ток: начальный I_{0i} ; при номинальной нагрузке I_{ni} ; максимальный I_{mi} ;
- нагрузка U_{mgi} , при которой блок выдает максимально допустимый ток I_{mgi} .

Основные динамические параметры блока:

- полоса пропускания каналов блока f_i ;
- частота среза f_{ci} , до которой каналы блока обеспечивают активное демпфирование;
- фазовое опережение φ_{ij} на собственных частотах подвеса и демпфируемых упругих формах;
- максимальная относительная амплитуда тока A_{\max} .

После автономной приемки блоков датчиков, электромагнитов, блока управления на соответствие требуемым параметрам производится проверка и сдача комплекта ЭМП на разработанном и изготовленном комплексном динамическом стенде рис. 2 с реальным ротором компрессора.

Виды испытаний в условиях серии, проводимые на комплексном динамическом стенде следующие:

1) проверка основных параметров блоков датчиков и электромагнитов при замкнутой системе автоматического регулирования;

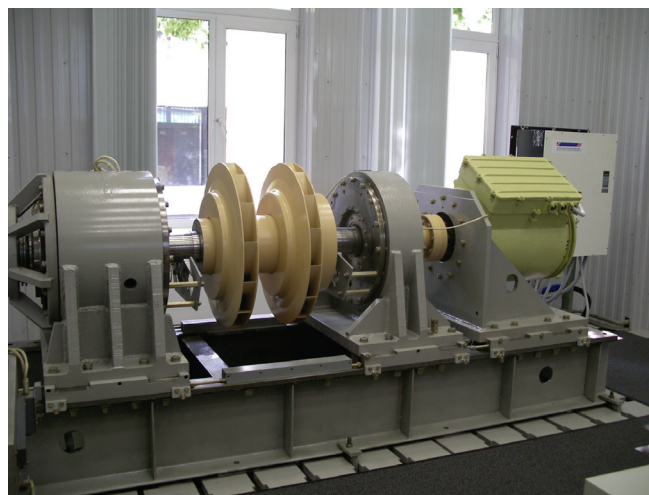


Рис. 2. Комплексный динамический стенд

- 2) снятие амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик каналов подвеса при разомкнутой и замкнутой системе автоматического регулирования;
- 3) определение жесткости ЭМП;
- 4) имитация работы комплекта ЭМП в условиях эксплуатации и определение параметров подвеса в этих условиях;
- 5) ресурсные испытания комплекта ЭМП без вращения ротора и при вращении.

При испытаниях по п. 4 определяются коэффициенты динамичности K_{gi} для пяти каналов и допустимая амплитуда биения ротора A_{\max} для пяти каналов. Ресурсная наработка комплекта проводится в статике при номинальной осевой нагрузке и в динамике при имитации номинального режима работы компрессора. На основании проведения всех этапов работ и определения основных параметров делается заключение о соответствии комплекта на компрессор данной мощности.

Опыт создания, эксплуатации и внедрения электромагнитного подвеса для компрессоров ГПА

Работы по созданию электромагнитного подвеса для компрессоров (нагнетателей) ГПА были начаты в ФГУП «НПП ВНИИЭМ» в конце 80-х годов. В основу этих работ по расчету, проектированию, изготовлению и испытаниям электромагнитного подвеса были положены результаты отработки электромагнитных подшипников для электромеханических исполнительных органов систем ориентации станций «Алмаз», «Салют» и орбитального комплекса «Мир».

К концу 1989 г. была разработана эксплуатационная документация и изготовлена первая опытная механика электромагнитного подвеса с блоком управления для

переоснащения масляного нагнетателя мощностью 16 МВт агрегата ГПА-Ц-16 производства Сумского НПО им. М.В. Фрунзе (Украина). На компрессор были также установлены «сухие» уплотнения этого же объединения. Испытания первого в СССР опытного образца безмасляного («сухого») компрессора (рис. 3) были проведены в начале 1991 г. на компрессорной станции г. Тольятти ПО «Самаратрансгаз».

Уже к началу 1992 г. общая наработка «сухого» компрессора составила около 4000 ч. Успешное завершение этой работы позволило, по решению ОАО «Газпром», начать в 1992 г. переоборудование еще четырех компрессоров агрегата ГПА-Ц-16 на компрессорной станции г. Сызрань ПО «Самаратрансгаз», которые были запущены в эксплуатацию в 1992 – 1994 гг.

В настоящее время суммарная наработка этих пяти компрессоров составляет около 200 тыс. ч. Наибольшая наработка отдельно взятого компрессора 70 тыс. ч.

В связи с успешным проведением работ на КС г. Тольятти и КС г. Сызрань ОАО «Газпром» предложил ФГУП «НПП ВНИИЭМ» в 1994 г. провести работы по модернизации действующих компрессоров ГПА и создать новые четыре типа «сухих» на-

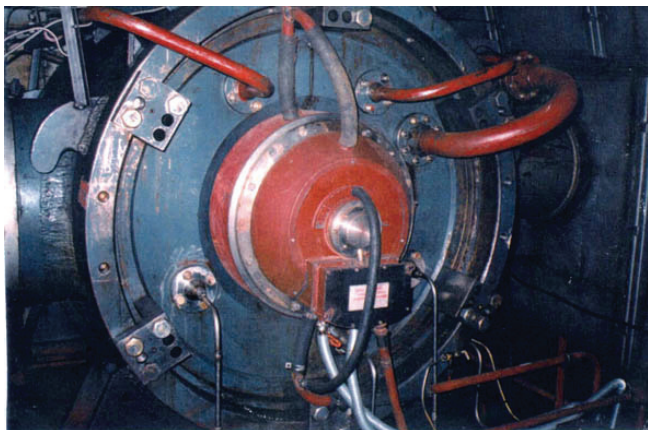


Рис. 3. Компрессор мощностью 16 МВт агрегата ГПА-Ц-16

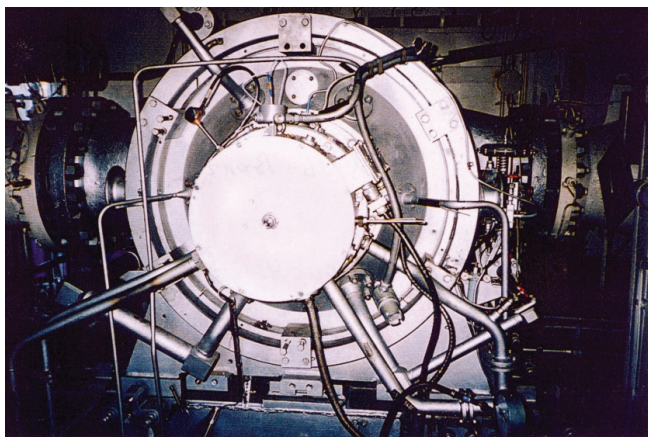


Рис. 4. Нагнетатель агрегата ГПА-16-«Волга»

гнетателя с электромагнитными подшипниками и газодинамическими уплотнениями (ГДУ).

Модернизации подвергались масляные компрессоры мощностью 2,5; 6,3; 10; 16; 25 МВт производства НПО «Турбогаз» г. Харьков (Украина), НПО им. М.В. Фрунзе г. Сумы (Украина), Невского завода г. С-Петербург. Новые «сухие» нагнетатели разрабатывались мощностью 12 МВт (ГПА-12 «Урал») [3], 16 МВт (ГПА-16 «Урал») [4] производства НПО «Искра» г. Пермь и 16 МВт (ГПА-16 «Волга») АО «Казанькомпрессормаш» г. Казань [5]. Кроме этого, переводу на ЭМП и ГДУ подвергался компрессор PCL-603 мощностью 16 МВт производства фирмы Nuovo Pignone (NP) г. Флоренция (Италия).

В связи с малым объемом финансирования работы по модернизации действующих компрессоров были приостановлены, основное усилие ФГУП «НПП ВНИИЭМ» было направлено на создание новых «сухих» нагнетателей.

К концу 1995 г. был разработан полный комплект рабочей документации, изготовлены опытные образцы механики и блока управления ЭМП для нагнетателя 16 МВт (ГПА-16-«Волга»), которые прошли испытания на автономных стендах и комплексном стенде компрессора.

В 1996 г. была завершена разработка документации, изготовлены и испытаны на стендах ФГУП «НПП ВНИИЭМ» опытные образцы механики и электроники для компрессора мощностью 12 МВт (ГПА-12-«Урал»).

В середине 1996 г. на предприятии АО «Казанькомпрессормаш» г. Казань ФГУП «НПП ВНИИЭМ» завершил испытания ЭМП для экспериментального образца нагнетателя агрегата ГПА-16-«Волга» (рис. 4).

Впервые в отечественной практике был создан электромагнитный подвес для нагнетателя с гибким ротором, у которого критическая частота ротора лежит в рабочем диапазоне частот вращения ротора компрессора и демпфируется ЭМП.

В июле 1996 г. ФГУП «НПП ВНИИЭМ», ДАО «Оргэнергогаз» завершили испытания радиальных электромагнитных подшипников с блоком управления на стенде итальянской фирмы Nuovo Pignone (г. Флоренция). Испытания проводились на стенде, имеющем возможность нагружать радиальные ЭМП как статическими, так и динамическими нагрузками, и вращать ротор до 10000 об/мин.

По результатам испытаний принято решение о внедрении ЭМП на компрессоре PLC-603 (16 МВт).

В 1997 г. на предприятии АО «Казанькомпрессормаш» г. Казань ФГУП «НПП ВНИИЭМ» завершил испытания второго нагнетателя мощностью 12 МВт с гибким ротором для агрегата ГПА-12 «Урал».

В этот же период завершаются приемосдаточные испытания компрессора НЦ-16 «Урал» производства НПО «Искра» для агрегата ГПА-16 «Урал».

В 1998 г. вводится в эксплуатацию компрессор PCL-603 (рис. 5) для агрегата PGT-21 производства фирмы Nuovo Pignone г. Флоренция (Италия) на КС «Алмазная» ООО «Пермтрансгаз».

После этого вводятся в эксплуатацию агрегаты ГПА-12М «Урал» на КС «Пермская», ГПА-16 «Волга» на КС «Помарская», ГПА-16М «Урал» на КС «Соковка».

Такой быстрый процесс выпуска документации, изготовления и испытаний был обусловлен тем, что, начиная с 1993 г. по 1999 г., в ФГУП «НПП ВНИИЭМ»:

- создана на базе ПЭВМ в полном объеме автоматизированная система проектирования электромагнитного подвеса компрессора, включающая в себя расчет индуктивных датчиков; оптимальных радиальных и осевых электромагнитов; расчет разомкнутой и замкнутой системы автоматического регулирования при работе с реальным ротором; проектирование блоков управления;

- выпущена конструкторская документация на ряд унифицированных ЭМП для всей номенклатуры компрессоров ГПА мощностью от 2,5 – 25 МВт, применяемых на газопроводах ОАО «Газпром», и ряд блоков управления напряжением 110 и 220 В постоянного тока;

- подготовлена производственная база для серийного выпуска ЭМП: изготовлены штампы на весь ряд типоразмеров электромагнитов; оснастка на осевые и радиальные электромагниты; датчики и блоки управления;

- разработано и изготовлено стендовое оборудование для автономных проверок датчиков, электромагнитов, блоков управления. Изготовлен статический стенд для исследований комплекта электромагнитного подвеса в разомкнутом и замкнутом состоянии с ротором-имитатором компрессора. Разработан и изготовлен динамический стенд для приемосдаточных испытаний комплектов ЭМП с реальным ротором и имитацией нагрузки на ЭМП.

Таким образом, ФГУП «НПП ВНИИЭМ» успешно создал опытные «сухие» нагнетатели с ЭМП. И в 2000 г. ОАО «Газпром» принял решение о разработке и реализации первой программы по серийному внедрению ЭМП в газоперекачивающие агрегаты газопроводов РФ и стран СНГ. Отметим, что на период разработки программы в РФ было лишь девять компрессоров, оснащенных магнитным подвесом.

Первой программой по изготовлению «сухих» компрессоров с ЭМП были определены заводы-изготовители: компрессор НЦ-16 «Волга» – ОАО «Казанькомпрессормаш»; компрессор НЦ-398 – ОАО «Компрессорный комплекс»; НЦ-12 «Урал»,

НЦ-16 «Урал» – НПО «Искра»; НЦ-16, НЦ-25 – СНПО им. М.В. Фрунзе (г. Сумы).

Программа подразумевала изготовление около 20-ти «сухих» компрессоров. Однако из-за финансовых трудностей за период 2000 – 2003 гг. было изготовлено всего лишь восемь компрессоров с ЭМП: два компрессора НЦ-16 «Волга» для КС «Помарская»; два компрессора НЦ-398 для КС «Шатровская» (рис. 6); два компрессора НЦ-16М «Урал» для КС «Долгодеревенская» (рис. 7); два компрессора НЦ-398-1 для КС «Арская».

Реализация первой программы позволила ФГУП «НПП ВНИИЭМ» полностью подготовить материальную базу для крупномасштабного серийного производства ЭМП для газопроводов РФ и СНГ.

В связи с возросшим потреблением газа в Западной Европе планами ОАО «Газпром» было предусмотрено с начала 2004 г. строительство нового участка газопровода «Ямал-Европа», который бы проходил от полуострова Ямал по территории Белоруссии к границам Польши и далее в Западную Европу.

Для данного газопровода требовались компрессоры, которые обладали бы высокими техническими параметрами, были бы экологически чистыми и имели бы высокую эффективность.

В этот период ОАО «Газпром», в лице Департамента по транспортировке газа, имея опыт внедрения «сухих» компрессоров с ЭМП, наряду со строительством масляных компрессорных станций, принимает фундаментальное решение по строительству «сухих» компрессорных станций, которые состояли бы только из компрессоров с ЭМП.

Кроме поставки серийных машин с ЭМП, программа подразумевала и создание новых компрессоров с ЭМП, в частности мощностью 25 МВт, и другого типа «сухих» компрессоров – дожимных, устанавливаемых непосредственно на компрессорных станциях добычи газа.

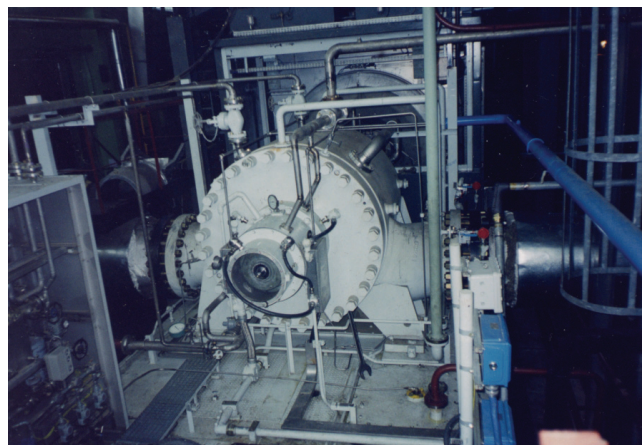


Рис. 5. Компрессор PCL-603

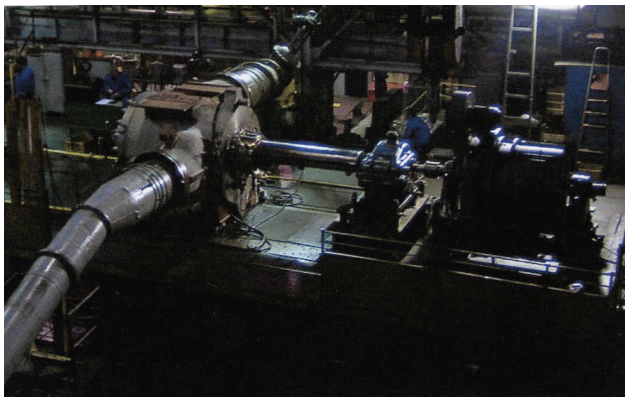


Рис. 6. Компрессор НЦ-398 для КС «Шатровская»

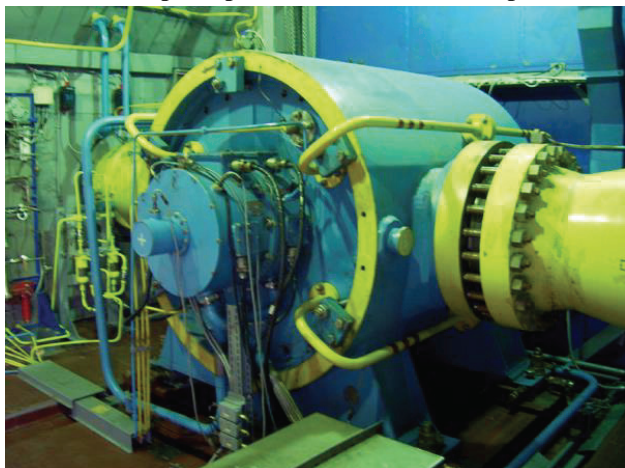


Рис. 7. Компрессор НЦ-16М «Урал» для КС «Долгодеревенская»



Рис. 8. Компрессор НЦ-16 с ЭМП для газопровода «Ямал-Европа» на КС «Слонимская»

Вторая программа предусматривает изготовление около ста «сухих» компрессоров с ЭМП (около 40 КС) мощностью от 12 до 25 МВт для газопровода «Ямал-Европа».

Первая полностью «сухая» компрессорная станция с нагнетателями НЦ-16 с ЭМП для газопровода «Ямал-Европа» вступила в строй в ноябре 2005 г. на КС «Слонимская» (рис. 8) на территории Белоруссии.

Для ФГУП «НПП ВНИИЭМ» это был первый опыт ввода в эксплуатацию только «сухих» компрессоров на КС. Ответственность была очень высокая – ведь КС «Слонимская» – последняя КС на территории Белоруссии, впереди Западная Европа (Польша).

Предприятие успешно выполнило пусконаладочные работы, и станция «Слонимская» была введена в строй. Далее ввод станций пошел быстрыми темпами: введены в строй в 2006 г. – КС «Оршанская» (НЦ-16 СНПО им. М.В. Фрунзе), КС «Мышкинская» (НЦ-16 СНПО им. М.В. Фрунзе), в 2007 г. – КС «Приполярная» (НЦ-16 «Волга»), КС «Перегребинская» (НЦ-16 СНПО им. М.В. Фрунзе).

В конце 2007 г. ФГУП «НПП ВНИИЭМ» создаст первый новый «сухой» компрессор с ЭМП мощностью 25 МВт (НЦ-25) (рис. 9) производства СНПО им. М.В. Фрунзе и в 2008 г. вводит в эксплуатацию три компрессорных станции с данными компрессорами – КС «Микуньская», КС «Новоюбилейная», КС «Новогрязовецкая».

Параллельно ведутся работы по вводу в эксплуатацию серийных «сухих» компрессоров – КС «Каменск-Шахтинская» (НЦ-16 «Урал» НПО «Искра»), КС «Н.Приводнинская» (НЦ-16 СНПО им. М.В. Фрунзе), КС «Пуртазовская» (НЦ-398 ОАО «Компрессорный комплекс»), изготавливаются ЭМП для нагнетателей КС «Арзамасская» (НЦ-16 СНПО им. М.В. Фрунзе), КС «Пуртазовская» (НЦ-398 ОАО «Компрессорный комплекс»).

В 2008 г. ФГУП «НПП ВНИИЭМ» завершает работы по разработке новых дожимных «сухих» компрессоров с ЭМП мощностью 16 МВт типа Н-498 производства ОАО «Компрессорный комплекс» (рис. 10) и вводит в эксплуатацию ДКС «Юбилейная», что знаменует собой начало внедрения ЭМП на предприятиях не только транспортировки, но и добычи газа.

В конце 2008 г. завершены пусконаладочные работы еще двух дожимных компрессорных станций (ДКС) – ДКС «Ямсовейская» (НЦ-498 ОАО «Компрессорный комплекс») и ДКС «Западно-Таркосолинская» (НЦ-ДК-16 СНПО им. М.В. Фрунзе).

Очень важным достижением 2008 г. является разработка и пуск в опытную эксплуатацию нового компрессора Н-208 с ЭМП (рис. 11), приводом которого является электрический двигатель. Компрессор имеет номинальную частоту вращения 8200 об/мин, что на 3000 об/мин больше, чем у серийных компрессоров. Разработка данного компрессора дала толчок к созданию новых типов ГПА – электрогазоперекачивающих, приводом у которых является не авиационный двигатель, а электрическая машина, что сильно улучшает технические показатели ГПА при транспортировке газа.

Наименование ГПА с МП	Количество	Наименование КС, для которой предназначается	Местонахождение комплектов МП
ГПА-Ц-16 (НЦ-16)	4 1	КС 23а «Сызранская» КС «Тольяттинская ОЭГКЦ»	В эксплуатации на КС в составе агрегата В эксплуатации на КС в составе агрегата
ГПА-12М «Урал» (НЦ-12М)	1	КС «Пермская»	В эксплуатации на КС в составе агрегата
ГПА-16 «Волга» (УНЦ-16)	2 5	КС «Помарская» КС «Приполярная»	В эксплуатации на КС в составе агрегата В эксплуатации на КС в составе агрегата
PGT-21 (PCL-603)	1	КС «Алмазная»	В эксплуатации на КС в составе агрегата
ГПА-16М «Урал» (НЦ 16М)	1	КС «Соковка»	В эксплуатации на КС в составе агрегата
ГПА-16М-01 «Урал» (398-23-1ЛСМ)	2	КС «Шатровская»	В эксплуатации на КС в составе агрегата
ГПА-16 ДКС «Урал» (498-23-1ЛСМ)	5	КС «Юбилейная»	В эксплуатации на КС в составе агрегата
ГПА-Ц-16 (16ГЦ2)	5 5 5 3	КС «Слонимская» КС «Мышкинская» КС «Оршанская» КС «Перегибнинская»	В эксплуатации на КС в составе агрегата В эксплуатации на КС в составе агрегата В эксплуатации на КС в составе агрегата В эксплуатации на КС в составе агрегата
ГПА-16М «Урал» (НЦ 16М-01) (НЦ 16М)	5 1	КС «Каменск-Шахтинская» КС «Соковка»	В эксплуатации на КС в составе агрегата В эксплуатации на КС в составе агрегата
ГПА-16М-01 «Урал» (398-28-3СМ)	2 2	КС «Шатровская» КС «Арская»	Завершаются пусконаладочные работы на КС Прошли испытания на стенде в ОАО «Компрессорный комплекс» в составе нагнетателя. Отгружены на КС в составе нагнетателя
ГПА-Ц-25 (321ГЦ2)	3 3 3	КС «Новоюбилейная» КС «Микуньская» КС «Новогрязовецкая»	В эксплуатации на КС в составе агрегата В эксплуатации на КС в составе агрегата В эксплуатации на КС в составе агрегата
ГПА-Ц-16 (16ГЦ2)	5	КС «Н.Приводинская»	В эксплуатации на КС в составе агрегата
ГПА-16 «Урал» (398-31-1ЛСМ)	4	КС «Пуртазовская»	В эксплуатации на КС в составе агрегата
ГПА-16М «Урал» (НЦ16М)	2	КС «Долгодеревенская»	Прошли испытания на стенде в ОАО НПО «Искра» в составе нагнетателя. Отгружены на КС в составе нагнетателя
ЭГПА-6,3 (Н-208-21-2ЛСМ)	3	КС «Смоленская»	Прошли испытания на стенде в ОАО «Компрессорный комплекс»
ГПА-16 «Волга» (НЦ-16 «Волга»)	2	КС «Помарская»	Завершаются пусконаладочные работы на КС
ГПА-16 ДКС «Урал» (498-23-1ЛСМ)	6	КС «Ямсовейская»	В эксплуатации на КС в составе агрегата
ГПА-16 ДКС «Урал» (16ГЦ)	4	КС «Западно-Таркосолинская»	В эксплуатации на КС в составе агрегата
ГПА-16М «Урал» (НЦ16М)	1	КС «Соковка»	Прошли испытания на стенде в ОАО НПО «Искра» в составе нагнетателя. Отгружены на КС в составе нагнетателя
ГПА-12М-01 «Урал» (НЦ-12М-01)	1	КС «Мышкинская»	Прошли испытания на стенде в ОАО НПО «Искра» в составе нагнетателя. Отгружены на КС в составе нагнетателя
ГПА-16 «Волга»(16ГЦ2)	6	КС «Арзамасская»	Проводятся монтажно-наладочные работы
ГПА-16 «Урал» (398-31-1 ЛСМ)	3	КС «Пуртазовская»	Проводятся монтажно-наладочные работы
ГПА-18М-01 «Урал»	2	КС «Урдома»	В изготовлении в ФГУП «НПП ВНИИЭМ»
ГПА-25ДКС «Урал» (НЦ25ДКС)	2	КС «Заполярная»	Проходят испытания на заводе-изготовителе нагнетателя
ГПА-16 ДКС	12	КС «Заполярная»	Прошли испытания на стенде в СНПО им. М.В. Фрунзе (г. Сумы) в составе нагнетателя
ГПА-Ц-16 (16ГЦ2)	5	КС «Лукояновская»	В изготовлении в ФГУП «НПП ВНИИЭМ»
ГПА-Ц-16 (16ГЦ2)	6	КС «Ивановская»	В изготовлении в ФГУП «НПП ВНИИЭМ»
ГПА-16 ДКС (16ГЦ2)	4	КС «Новогрязовецкая»	В изготовлении в ФГУП «НПП ВНИИЭМ»
ГПА-Ц-25 (321ГЦ2)	1	КС «Арская»	В изготовлении в ФГУП «НПП ВНИИЭМ»
Всего	128		

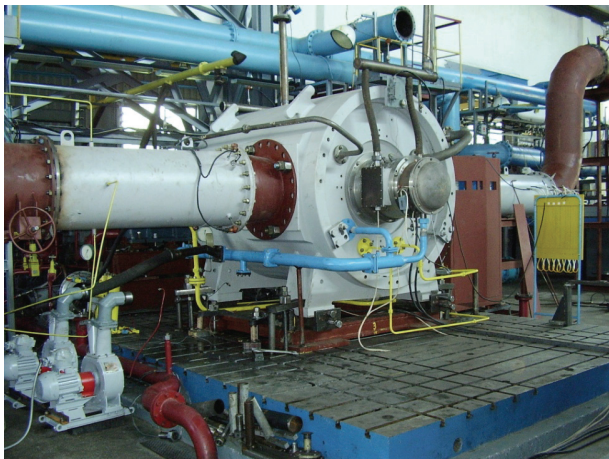


Рис. 9. Компрессор с МП мощностью 25 МВт (НЦ-25)



Рис. 10. Дожимной компрессор с ЭМП мощностью 16 МВт типа Н-498

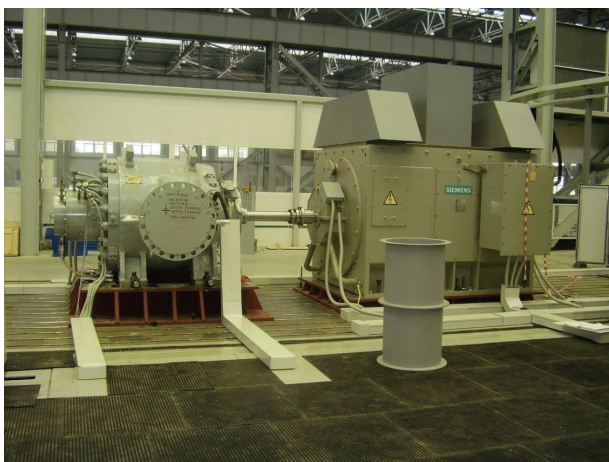


Рис. 11. Компрессор Н-208 с МП

На 2009 г. согласно программе намечено изготовление и ввод около 20-ти компрессоров с ЭМП: КС «Заполярная» (НЦ-16 СНПО им. М.В. Фрунзе, НЦ-25 «Урал» НПО «Искра»), КС «Урдома» (НЦ-16 «Урал»), КС «Ярынская» (НЦ-25 «Урал» НПО «Искра»).

Таким образом, в настоящее время:

- разработаны, изготовлены и испытаны электромеханические узлы и электроника ЭМП на всю номенклатуру серийно выпускаемых компрессоров мощностью 2,5; 6,3; 10; 12; 16; 25 МВт;
- завершена в полном объеме отработка системы электромагнитного подвеса на компрессорах мощностью 12 – 25 МВт;
- получен положительный опыт эксплуатации компрессоров мощностью 12 – 25 МВт с ЭМП на действующих газопроводах, а достигнутая наработка свидетельствует о необходимости дальнейшего широкого серийного внедрения ЭМП на всем парке выпускаемых компрессоров ОАО «Газпром».

К концу 2008 г. согласно программе ОАО «Газпром» уже было изготовлено около 100 компрессоров с ЭМП, установленных в компрессорах ГПА, и РФ вышла в мировые лидеры по внедрению данного вида высокотехнологичной продукции в компрессоры ГПА.

Литература

1. Магнитный подвес для гибких роторов компрессоров / В.П. Верещагин, А.П. Сарычев // Газовая промышленность. – М., 2000. – №2. – С. 5 – 53.
2. Магнитная опора компрессора: пат. 2251033 Рос. Федерация: МПК⁷ F 16 C 32/04 / Будзуляк Б.В., Вейнберг Д.М., Верещагин В.П. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГУП «НПП ВНИИЭМ». – № 2003119193/11; заявл. 30.06.2003; опубл. 27.04.2005.
3. Опыт создания нагнетателя для ГПА-12М «Урал» / А.П. Сарычев, А.В. Спирин // Компрессорная техника и пневматика. – М., 2001. – №8. – С. 15 – 18.
4. Создание нагнетателя НЦ-16М «Урал» с электромагнитным подвесом и сухими уплотнениями / А.П. Сарычев, А.В. Спирин // Компрессорная техника и пневматика. – М., 2003. – №6.
5. Разработка и испытания нагнетателя с магнитными подшипниками для ГПА-16 «Волга» / В.П. Верещагин, А.П. Сарычев, А.В. Спирин // Компрессорная техника и пневматика. – М., 2001. – №5. – С. 16 – 19.

Поступила в редакцию 03.08.2009

Алексей Петрович Сарычев, канд. техн. наук, зам. генерального директора-генерального конструктора, т. 365-56-29, e-mail: vniet@vniet.ru.