

# Система автоматического управления электромагнитными подшипниками центробежного компрессора ГПА

**В.Е. Веремеев, Д.В. Витковский, А.В. Москалев, С.В. Сальников, С.А. Сопит –  
ОАО «Газпром автоматизация»**

Сегодня в газотранспортной отрасли широко применяются электромагнитные подшипники. В статье дано описание системы управления, рассмотрена структура и программно-технические средства, представлен опыт по внедрению системы автоматического управления электромагнитными подшипниками САУ ЭМП «Неман-100».

## In brief

**Automated control system  
of electromagnetic bearings  
of gas pumping units  
centrifugal compressors.**

*At present electromagnetic  
bearings are widely used  
in gas pipeline systems.*

*The article presents the  
description of automated  
control system, structure and  
automation software and  
hardware, the experience  
of SAU EMP Neman-100  
automated control system of  
electromagnetic bearings  
implementation.*

*Nowadays electromagnetic  
bearings are widely used  
in centrifugal compressors  
of gas pumping units*

*on compressor stations  
of cross-country natural gas  
pipelines. The application  
of electromagnetic bearings  
of centrifugal compressor  
rotor has a number of advan-  
tages: absence of mechani-  
cal contact between parts  
of the compressor, absence  
of systems of oil treatment  
and supply, the possibility  
operation in aggressive and  
other environments.*

*The disadvantages of such  
systems are complexity  
of electronic control unit  
and necessity of highly  
experienced personnel  
for technical maintenance.*

**В** настоящее время электромагнитные подшипники (ЭМП) широко применяются в составе центробежных компрессоров (ЦБК) газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций магистральных газопроводов. Использование электромагнитного подвеса ротора ЦБК имеет ряд преимуществ [1]: отсутствие механического контакта, а также системы подготовки и подачи масла, способность работать в агрессивных средах и т.д. К недостаткам ЭМП можно отнести сложность электронного блока управления и необходимость в высококвалифицированном персонале для технического обслуживания.

Электромагнитные подшипники являются важным узлом газоперекачивающего агрегата, определяющим его работоспособность и эффективность. Отказы ЭМП сопровождаются незавершенными пусками и аварийными остановами агрегата, что снижает ресурс двигателя, а также приводит к разрушениям страховочных подшипников. Ухудшение параметров ЭМП ограничивает диапазон режимов работы компрессора. Опыт эксплуатации ЦБК, оснащенных системами электромагнитного подвеса ротора, на объектах ОАО «Газпром» показал, что основным фактором, снижающим надежность работы компрессоров, является неустой-

чивая работа систем управления электромагнитными подшипниками [2]. Таким образом, совершенствование ЭМП с целью повышения надежности является актуальной задачей.

Сложность реализации электронного блока управления ЭМП обусловлена высокими требованиями к быстродействию, устойчивости и точности системы управления. Опыт фирмы «Калининградгазприборавтоматика» (КГПА) – дочерней организации ОАО «Газпром автоматизация» – в создании и внедрении систем автоматического управления различных уровней сложности позволил разработать САУ ЭМП «Неман-100». Система управления соответствует техническому заданию ОАО «Газпром» и обеспечивает повышение эксплуатационных характеристик электромагнитного подвеса ротора ЦБК.

Специалистами фирмы «КГПА» создана отказоустойчивая система с надежной элементной базой на основе быстродействующего контроллерного оборудования. При этом встроенные функции системы обеспечивают удобное обслуживание и настройку, а возможность интеграции в систему управления агрегатной автоматики делает технологический процесс более информативным.

В настоящее время установлены два комплекта САУ ЭМП «Неман-100» на КС-22 «Помарская» Волжского ЛПУ МГ (ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород»). Системы зарекомендовали себя положительно как в процессе эксплуатации, так и при проведении обслуживания. В начале текущего года САУ ЭМП «Неман-100» успешно выдержала приемочные испытания в ОАО «Газпром» и была принята в промышленную эксплуатацию.

**С** Фото 1. Центробежный компрессор НЦ-16-76/1,44 с комплектом электромагнитных подшипников в составе ГПА-16 Волга



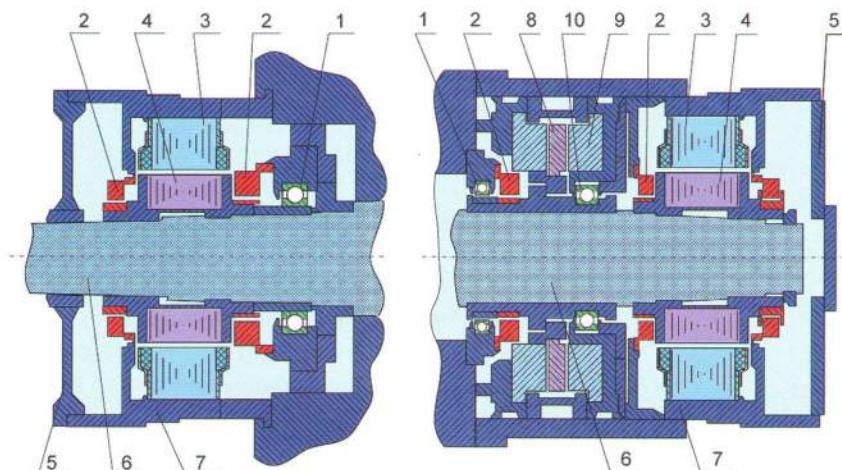
## Управление ЭМП

Объектом управления САУ ЭМП «Неман-100» являются электромагнитные подшипники в составе центробежного компрессора НЦ-16-76 / 1,44 газоперекачивающего агрегата ГПА-16 Волга (фото 1).

Конструктивно активный магнитный подвес ротора нагнетателя представляет собой комплект в составе двух радиальных и одного осевого электромагнитных подшипников. Со стороны привода ГПА радиальный подшипник является опорным, а совокупность радиального и осевого подшипников со стороны свободного конца компрессора составляют опорно-упорный подшипник (рис. 1).

Радиальный электромагнитный подшипник состоит из силовой части, датчиков положения ротора и страховочного подшипника. Силовая часть служит для восприятия нагрузок в радиальных направлениях, в нее входит статор и укрепленная на валу цапфа.

Чтобы вызывать силу в любом из радиальных направлений, применена восьмиполосная конструкция (четыре пары полюсов), в которой обмотки каждого двух соседних полюсов соединяются между собой и вместе с этими полюсами образуют электромагнит. Смещения ротора из заданного положения равновесия в радиальном и осевом направлении измеряются датчиками положения, которые располагаются в специальных кольцах (блоки датчиков), укрепленных на статоре ротора компрессора.



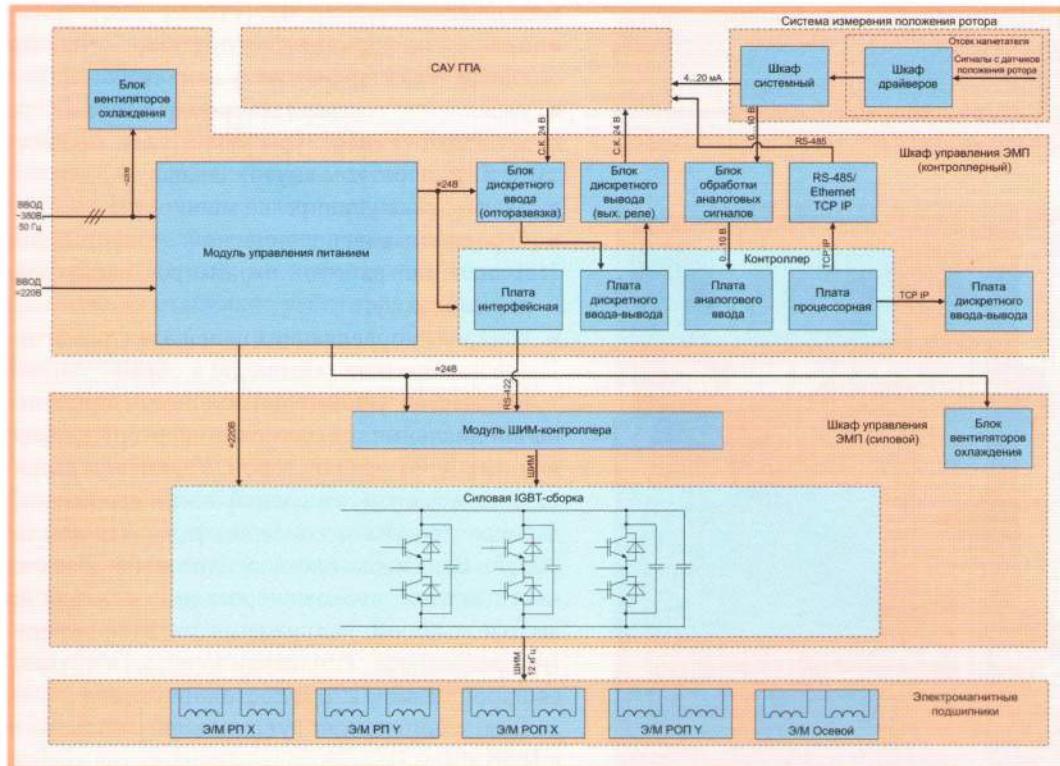
## Структура САУ ЭМП «Неман-100»

В соответствии со структурной схемой САУ ЭМП «Неман-100» (рис. 2) можно выделить следующие основные составляющие:

- Система измерения положения ротора АСТД-2:
  - вихревые датчики положения;
  - шкаф драйверов ШД-03;
  - шкаф системный ШС-06.
- Контроллерный шкаф управления ЭМП:
  - контроллер;
  - графическая панель оператора;
  - блоки дискретного ввода / вывода;
  - плата обработки аналоговых сигналов;
  - преобразователи интерфейсов;
  - блоки питания;
  - схема резервирования питания.

**Рис. 1. Конструкция опорного (слева) и опорно-упорного (справа) подшипников:**

- 1 – радиальный страховочный подшипник;
- 2 – датчик положения радиальный;
- 3 – радиальные электромагниты;
- 4 – магнитопровод;
- 5 – ротор;
- 6 – статор;
- 7 – осевой диск;
- 8 – осевые электромагниты;
- 9 – страховочный подшипник осевой;
- 10 – блок датчиков осевой



**Рис. 2.**  
Структурная схема  
САУ ЭМП «Неман-100»

3. Силовой шкаф управления ЭМП:
  - модули ШИМ-контроллеров;
  - усилители мощности;
  - блок вентиляторов охлаждения.
4. Электромагниты.

### Программно-технические средства

Система измерения положения ротора АСТД-2 разработана ООО «ТД «Технекон» (Москва) на основе технического задания, подготовленного фирмой «КГПА». Вихревые датчики положения подключаются к шкафу драйверов, установленному в отсеке нагнетателя и обрабатывающему сигналы датчиков положения. Каждый драйвер принимает сигнал от пары датчиков, установленных на одной оси, и формирует выходной сигнал напряжения, пропорциональный разнице показаний по обоим датчикам. Благодаря дифференциальной схеме измерения удается добиться высокой точности и уменьшить влияние внешних наводок и помех.

В системном шкафу установлены формирователи сигналов, обеспечивающие пересчет сигнала смещения ротора в другие физические величины, например, размах виброперемещения и преобразование в унифицированный токовый сигнал. В АСТД-2 также реализована диагностика цепей датчиков на короткое замыкание или обрыв.

Следующим звеном САУ ЭМП являются шкафы управления (ШУ ЭМП) – контроллерный и силовой (*фото 2*). Контроллерный шкаф является центральным элементом системы и выполняет следующие функции:

- сбор информации от системы контроля вибрации;
- вычисление регулирующего воздействия и выдача управляющего сигнала в силовой шкаф;

- сбор диагностической информации от аппаратуры САУ ЭМП;
- отображение информации о технологическом процессе, ведение журналов и архив рабочих параметров на графической панели;
- реализация сервисных функций;
- взаимодействие с САУ ГПА.

В контроллерном шкафу располагается программируемый логический контроллер (ПЛК) выполненный в форм-факторе 3U на базе платы CompactPCI. ПЛК состоит из плат ввода/вывода и центрального процессора. В единичном центральном процессоре реализованы в регулирующие контуры электромагнитно подвеса. Такое решение создает удобство при настройке каналов управления. В частности оперативно можно вносить изменения в реестр каждого канала, запускать функции настройки и диагностики. При этом не требует извлекать какие-либо устройства или останавливать их работу.

Для визуализации параметров работы САУ ЭМП в контроллерном шкафу установлена панель оператора, оборудованная функциональной клавиатурой и цветным TFT-дисплеем. Панель оператора предназначена для отображения значений аналоговых параметров в удобной форме, настройки и проверки САУ ЭМП, а также архивирования аварийных предупредительных событий, действий оператора и команд от САУ ГПА.

Контроллерный шкаф управления взаимодействует с силовым, в котором располагаются усилители мощности. Основные функции силового шкафа:

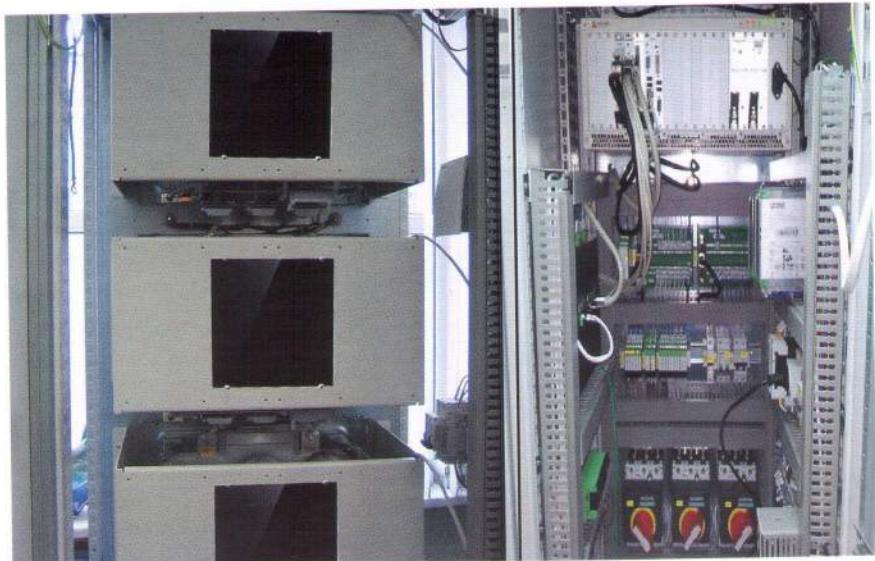
- прием информации от контроллерного шкафа по интерфейсному каналу;
- управление токами электромагнитов;
- контроль температуры усилителей мощности и температуры внутри шкафа;
- диагностика усилителей мощности;
- передача диагностической информации и значений рабочих параметров в контроллерный шкаф;
- контроль управляющих цепей электромагнитов на короткое замыкание и обрыв.

В качестве усилителей мощности применяются специальные трехфазные инверторы на мощных IGBT-транзисторах. Усилители работали с учетом специфических требований данного проекта и способны выдавать ток 200 А. В каждом блоке реализована возможность диагностировать короткое замыкание на выходе, падение напряжения питания и прогрев радиаторов. Усилители мощности питались напряжением 220 В постоянного тока.

Для сопряжения усилителей мощности с ПЛК были разработаны специальные ин-

**Фото 2.**

**Шкафы управления ЭМП**  
(слева – силовой,  
справа – контроллерный)



лектуальные модули – ШИМ-контроллеры. Со стороны контроллера модуль подключается по интерфейсу RS-422. Для обмена информацией разработан высокоскоростной протокол передачи данных со скоростью до 1 Мбит/с. По данному протоколу от ПЛК поступает задание значений токов управления, на основании которых модуль формирует сигнал широтно-импульсной модуляции, управляющий ключами в усилителях мощности. В каждый модуль ШИМ встроен собственный микроконтроллер, в котором реализован регулятор тока. Помимо функций сопряжения и регулирования, модули ШИМ диагностируют работоспособность усилителей мощностей и в случае обнаружения отказа выдают в центральный процессор соответствующий предупредительный сигнал.

## Испытания и эксплуатация САУ ЭМП на объекте

В период 2012–2013 гг. на КС-22 «Помарская» Волжского ЛПУ МГ были введены в эксплуатацию два комплекта САУ ЭМП «Неман-100». Этому предшествовал ряд испытаний системы на различных режимах работы ГПА и при изменяющихся внешних условиях, включая длительную работу на предельной частоте и степени сжатия, работу при повышенном и пониженном температурном режиме в блок-боксе и под воздействием внешних электромагнитных полей. Также проводились тесты по обнаружению неисправностей и замене элементов САУ ЭМП. Во всех испытаниях система показала положительный результат и устойчивую работу. На рис. 3 представлен график параметров виброперемещения ротора компрессора – как видно, среднее значение составляет порядка 60 мкм.

Кроме того, была проверена устойчивость работы САУ ЭМП при проведении помпажных тестов. При входе в предпомпажную зону наблюдалось повышение вибрации ротора до уровня 120 мкм, но несмотря на это ЭМП продолжали стablyно работать (рис. 4).

## Заключение

Проведенные испытания САУ «Неман-100» подтвердили ее высокие эксплуатационные характеристики. Положительного результата удалось добиться благодаря применению современных программно-технических решений и надежной элементной базы. Высокая информативность системы делает ее удобной в эксплуатации и обслуживании. Таким образом, САУ ЭМП можно применять как унифицированное изделие на различных типах центробежных компрессоров с электромагнитными подшипниками.

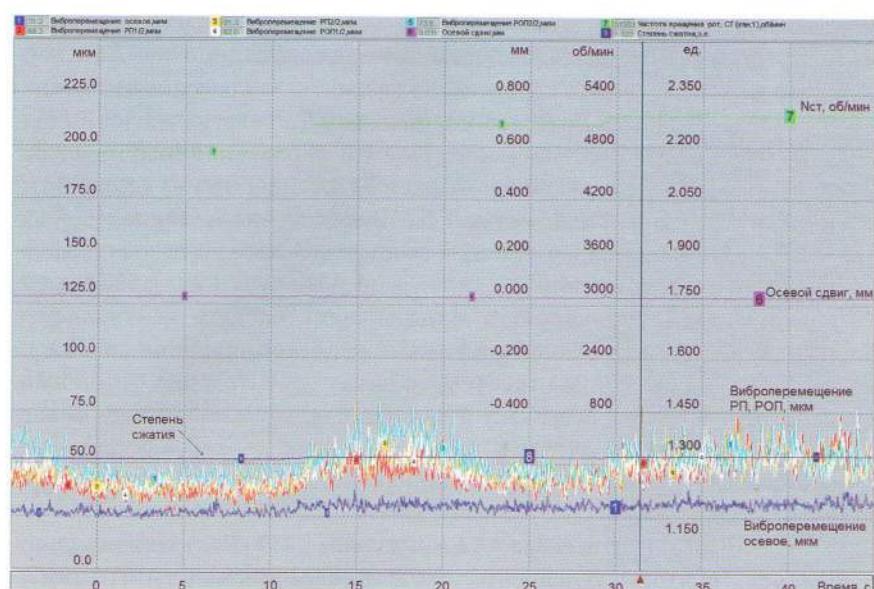


Рис. 3. Виброперемещение ротора центробежного компрессора по каналам управления при работе с номинальной частотой вращения

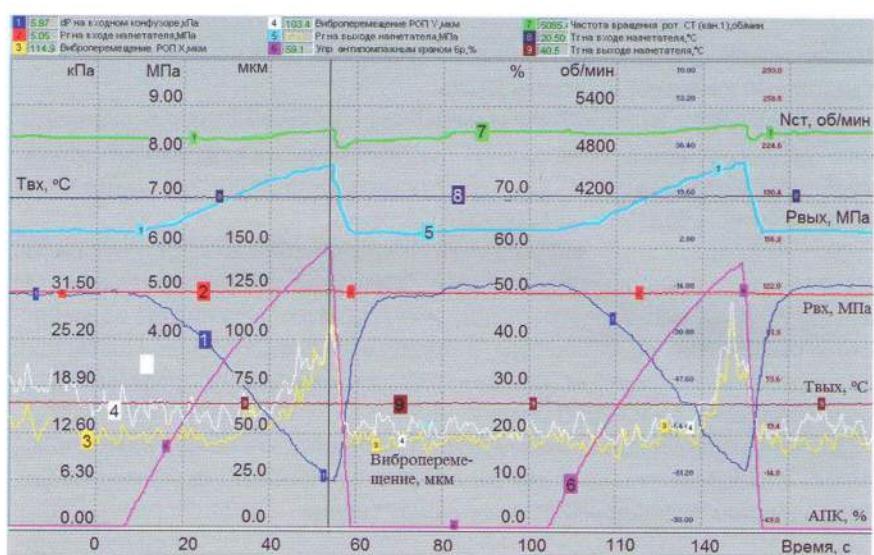


Рис. 4. График рабочих параметров центробежного компрессора при проведении помпажных тестов

## Использованная литература

1. Журавлев Ю.Н. Активные магнитные подшипники: теория, расчет, применение. – СПб.: Политехника, 2003. 206 с.
2. Седов В.В., Бандалетов В.Ф., Никитин А.М., Чернышев В.И., Щербаков Г.Д. Центробежные компрессоры природного газа отечественного производства в ОАО «Газпром» / Газотурбинные технологии. 2013, №8. С. 18–23.