

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДВЕСА РОТОРОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

О.В. Крюков

Рассмотрен промышленный опыт реализации электромагнитного подвеса роторов электродвигателей газотранспортных агрегатов компрессорных станций на магистральных газопроводах. Проведён анализ основных преимуществ активных электромагнитных подшипников по повышению надёжности, ресурса и снижению эксплуатационных затрат на обслуживание электроприводных газоперекачивающих агрегатов. Представлены результаты анализа эффективной работы электромагнитного подвеса в динамических режимах и при реализации принципов малолюдных и безлюдных технологий. Показаны эффективные результаты реализации безредукторных и безмасляных технологий электромагнитных подшипников для повышения функциональных возможностей, надёжности, энергоэффективности и экологичности наиболее ответственных агрегатов магистральных газопроводов.

Ключевые слова: электромагнитный подвес, газоперекачивающий агрегат, компрессорная станция, электропривод, энергоэффективность.

Газоперекачивающие агрегаты (ГПА) являются основным технологическим оборудованием компрессорных станций (КС) и одним из ключевых элементов трубопроводной системы транспорта газа [1 – 4]. В парке ПАО «Газпром» эксплуатируются ГПА с тремя типами приводов: газотурбинный (85 %), газопоршневой (1 %) и электрический (14 %) [5 – 8].

Наиболее широкое распространение электроприводные ГПА (ЭГПА) получили в 1960 – 80-е гг., но в дальнейшем из-за значительной разницы стоимости электроэнергии и природного газа (при энергетически эквивалентном количестве энергии), использование ЭГПА стало нерентабельным [9 – 12].

Реформа электроэнергетики РФ 2000-х годов и сопутствующая ей либерализация рынка электроэнергии позволила снизить темпы роста тарифов на электрическую энергию. При этом природный газ, напротив, показывает опережающие темпы роста (рис. 1). Данная тенденция отражает, во-первых, существенное отставание стоимости газа в России относительно общемировых уровней, а во-вторых, постоянно растущую себестоимость природного газа. За последние 3 года средний рост себестоимости добычи газа ОАО «Газпром» составил 17 %/год, себестоимости транспортировки газа – 11 %/год.

Повышение себестоимости газа существенно снижает экономическую эффективность его использования на собственные нужды газотранспортного предприятия. Подтверждением этому может служить ситуация на многих европейских объектах транспорта газа и месторождениях. Стоимость природного газа в Европе в несколько раз превышает тарифы для российских потребителей. Это повышает экономическую целесообразность использования электрического, а не газотурбинно-

го привода. В качестве примеров успешного использования ЭГПА за рубежом можно привести: агрегат мощностью 23 МВт на голландском месторождении Гронинген, ЭГПА мощностью 50 МВт на норвежском морском месторождении Ормен Ланге, электроприводную компрессорную станцию в г. Берген (Норвегия), входящую в состав газопровода «Северный поток», а также множество КС и подземных хранилищ газа в Германии.

Растущий интерес к ЭГПА в России актуализирует вопросы эффективности работы существующих агрегатов и стимулирует производителей использовать новейшие научно-технические разработки при выпуске новых ЭГПА [13 – 16].

Программа реконструкции ЭГПА (табл. 1) [1, 17 – 19] стартовала ещё в 2009 г. на объектах МГ «Парабель – Кузбасс» ООО «Газпром трансгаз Томск». КС «Володино» стала первой станцией в системе ПАО «Газпром», на которой реализован принцип безлюдных технологий. При этом диспетчер, находящийся в Томске, дистанционно управляет работой ЭГПА, регулируя их скорость в соответствии с режимами МГ и мониторингом состояния оборудования. Реконструированы три из шести КС МГ «Парабель – Кузбасс», на которых установлены ЭГПА-4.0/8200-56/1.26-Р общей мощностью 48 МВт. Программой реконструкции завершить модернизацию МГ «Парабель – Кузбасс» планируется в 2020 г. с полным обновлением газотранспортной системы ООО «Газпром трансгаз Томск».

На КС «Смоленская» ООО «Газпром трансгаз Петербург» реализованы проекты по замене СТД-4000-2 на ЭГПА с ЧРП типа ЭГПА-6,3/8200-56/1,44Р, работающего сегодня в штатном режиме. Далее пройдут замены ЭГПА на базе АЗ-4500-150

и СТД-4000-2 на ЭГПА-6,3/8200-56/1,44Р на КЦ-1 КС «Торжок», КЦ-1 КС «Холм – Жирковская» и КЦ-1 КС «Валдай».

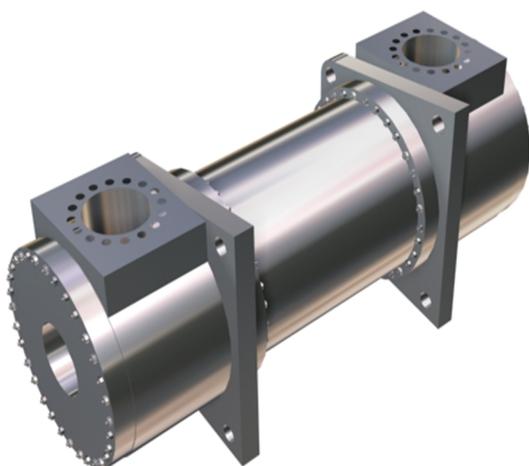
Для ООО «Газпром трансгаз Ухта» разработана проектная и рабочая документация по модернизации КЦ-1 на КС-17 «Грязовец» и КЦ-2 на КС-18 «Мышкино» с замена старых СТД-4000-2 на ЭГПА-6,3/8200-56/1,44Р. Разработана докумен-

тация стадии «Проект» по установке высокооборотных ЧРП ЭГПА с АД на КС «Карталинская» ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», где в рамках реконструкции планируется замена отработавших свой срок ЭГПА на базе СТД-4000-2 на ЭГПА-8,2/8600-56/1,44-Р «Лысьва-МБ-8,2» с высокооборотными ЧРП с АД Лысьвенского завода «Привод» (рис. 1).

Таблица 1

Объекты внедрения новых ЭГПА российского производства

Изготовитель ЭГПА	Тип ЭГПА	Номинальная мощность, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	Опыт реализации	Перспектива поставки
ОАО «Росэлектропромхолдинг» г. Санкт-Петербург	ЭГПА-4,0/8200-56	4000	8200	КС Володино КС Парабель КС Чажемто КС Просоково КС Вертикос КС Александровская	
	ЭГПА-6,3/8200-56	6300	8200	КС Смоленск	КС Смоленск КС Грязовец КС Торжок
	ЭГПА-12,5/6500-56	12500	6500		
ООО «Электротяжмаш-Привод» Пермский край, г. Лысьва	ЭГПА-4.0/8200-56 «Лысьва-ВОСТОК»	4000	8200		
	ЭГПА-6,3/8200-56 «Кедр»	6300	8200		
	ЭГПА-8.2/8600-56 «Лысьва-МБ-8,2»	8200	8600		КС Карталинская
	ЭГПА-12,5/6500-76 «Лысьва»	12500	6500		



а



б

Рис. 1. ЭГПА-8,2/8600-56/1,44-Р «Лысьва-МБ-8,2» с высокооборотными частотно-регулируемыми асинхронными двигателями: а – конструкция моноблока; б – фото агрегата в едином корпусе

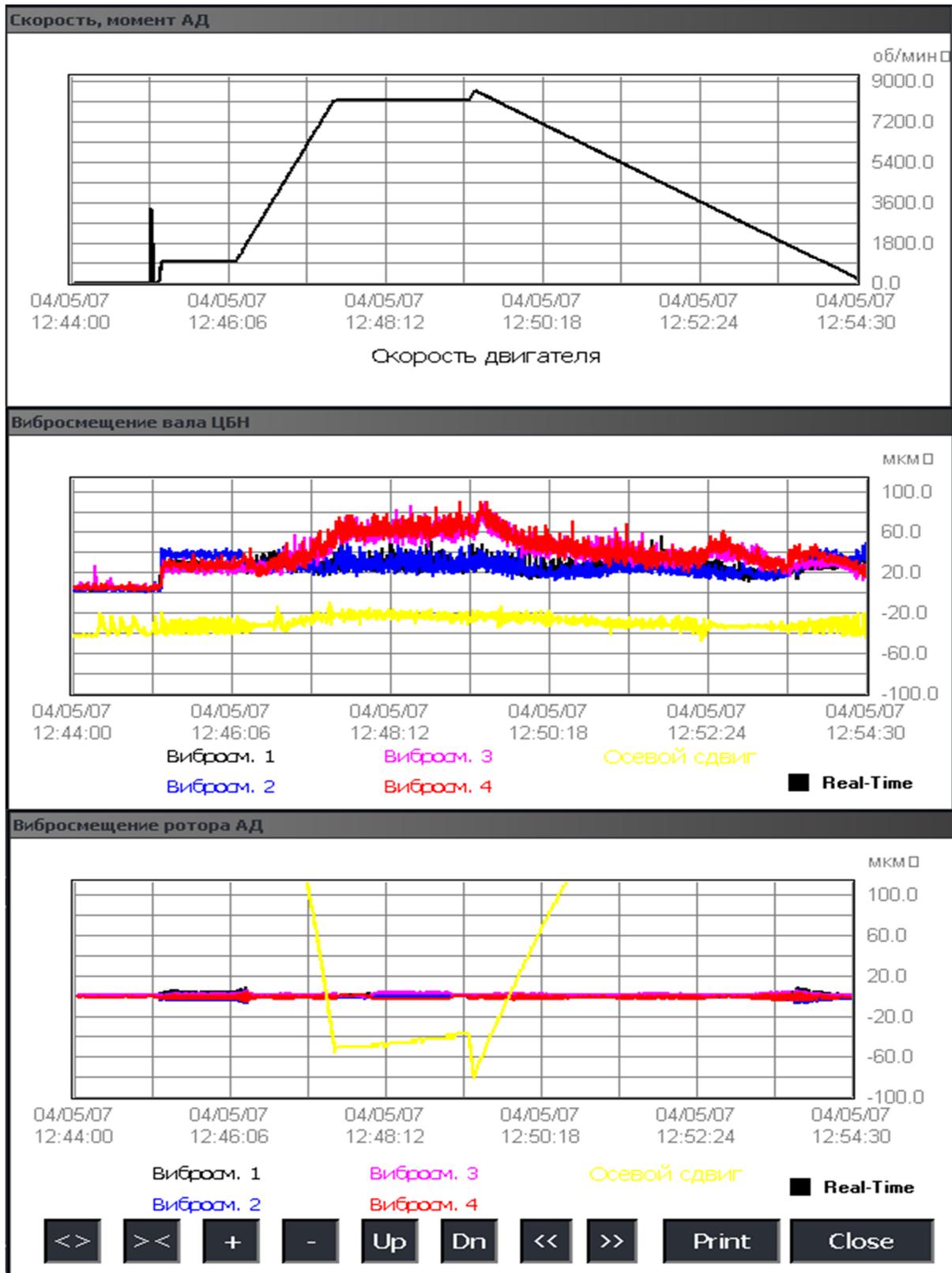


Рис. 2. Тренды частоты вращения и виброперемещений при пуске и аварийном останове агрегата ЭГПА-6,3/8200-56/1,44-Р на стенде (1 этап приёмочных испытаний)

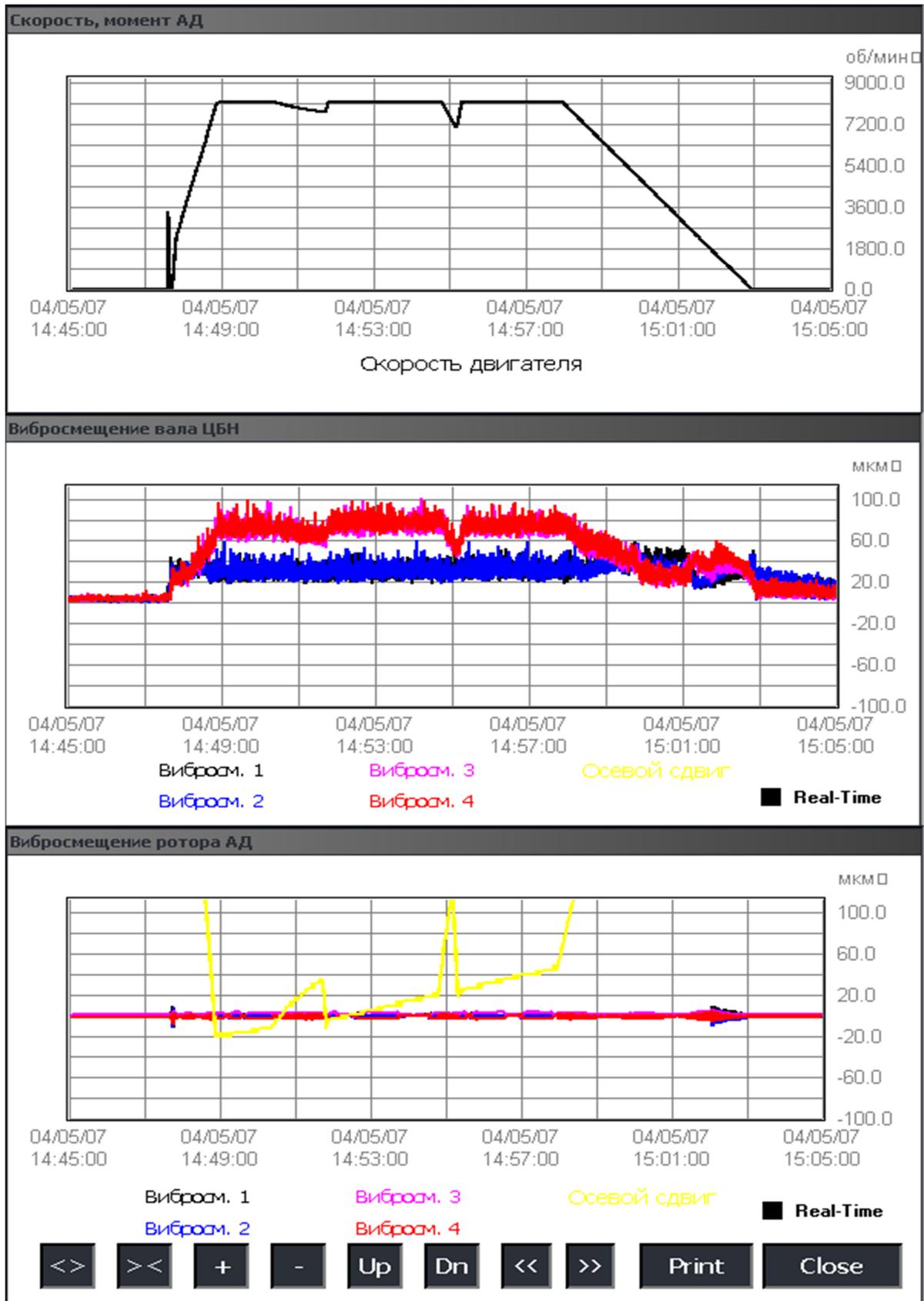


Рис. 3. Тренды частоты вращения и виброперемещений агрегата ЭГПА-6,3/8200-56/1,44-Р на стенде при изменениях и пропадании напряжения питания на 10 с

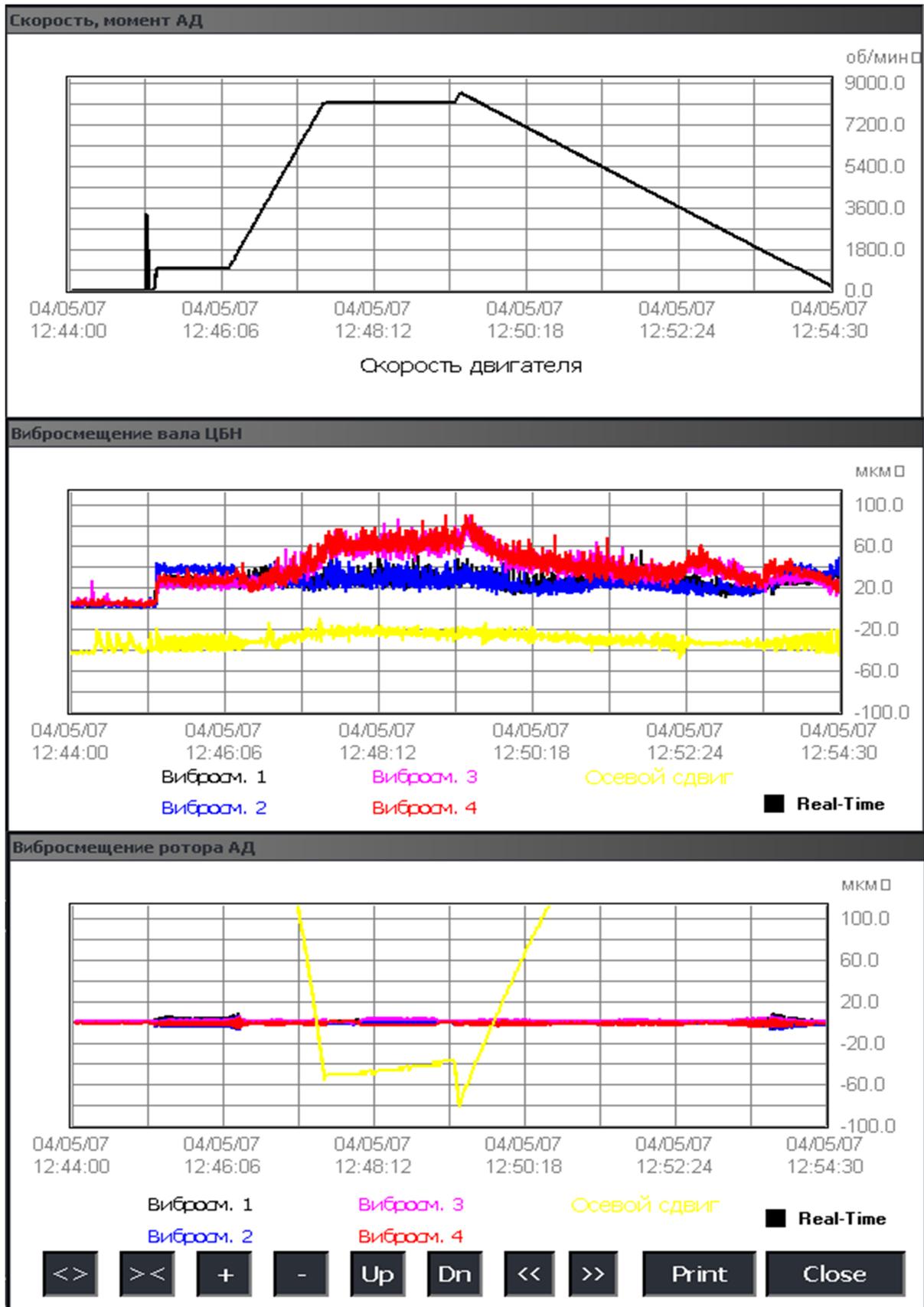


Рис. 4. Тренды ЧВ, давления и расхода при аварийном останове агрегата ЭГПА-6,3/8200-56/1,44-Р без стравливания газа

Эксплуатационные характеристики новых ЧРП ЭГПА можно оценить по результатам испытаний и экспериментальным данным, на рис. 2 – 4.

Для научно обоснованного принятия решений по использованию новых ЭГПА при реконструкции и новом строительстве КС МГ необходимо:

- оценить положительные примеры реализации новых ЭГПА на объектах ГТС с использованием факторов энергоэффективности и малолюдных информационных технологий (ИТ);
- проанализировать энергетическую характеристику района внедрения ЭГПА, перспективы развития энергосистемы и тарифной политики региона;
- оценить экологическое состояние района строительства МГ в целом и возможности адаптации инфраструктуры района к электроприводным КС;
- рассчитать экономическую эффективность и применения ЭГПА.

Рекомендации по внедрению ЭГПА представлены на основе комплексного анализа по указанным критериям с учётом их иерархии, взаимосвязи и необходимости обеспечения безопасной работы ГТС.

Все современные ЭГПА оснащены системами ЭМП ротора двигателя и ЦБН производства корпорации SKF/S2M, и как показано на диаграмме рис. 5, они по количеству превосходят газотурбинные агрегаты [20 – 23]. Активные ЭМП позволяют, используя сухие уплотнения, отказаться от масляного хозяйства и АВО масла, что существенно упрощает конструкцию ЭГПА и делает его более простым в техническом обслуживании и ремонте (ТОиР), обеспечивая в полной мере реализацию МТ.

Некоторые производители, например компания «Alstom», соединяют в едином моноблоке электродвигатель и одну или несколько ступеней ЦБН, расположенных непосредственно на роторе электродвигателя (рис. 6). Из отечественных производителей наибольший успех в освоении технологий ЭМП для мощных агрегатов достигли в корпорации ВНИИЭМ [24 – 26], однако мегаваттные электродвигатели с активным ЭМП ротора до сих пор еще сложны и дороги. Но главной проблемой, согласно отзывам газотранспортных предприятий, является обеспечение их устойчивой работы [27 – 30].

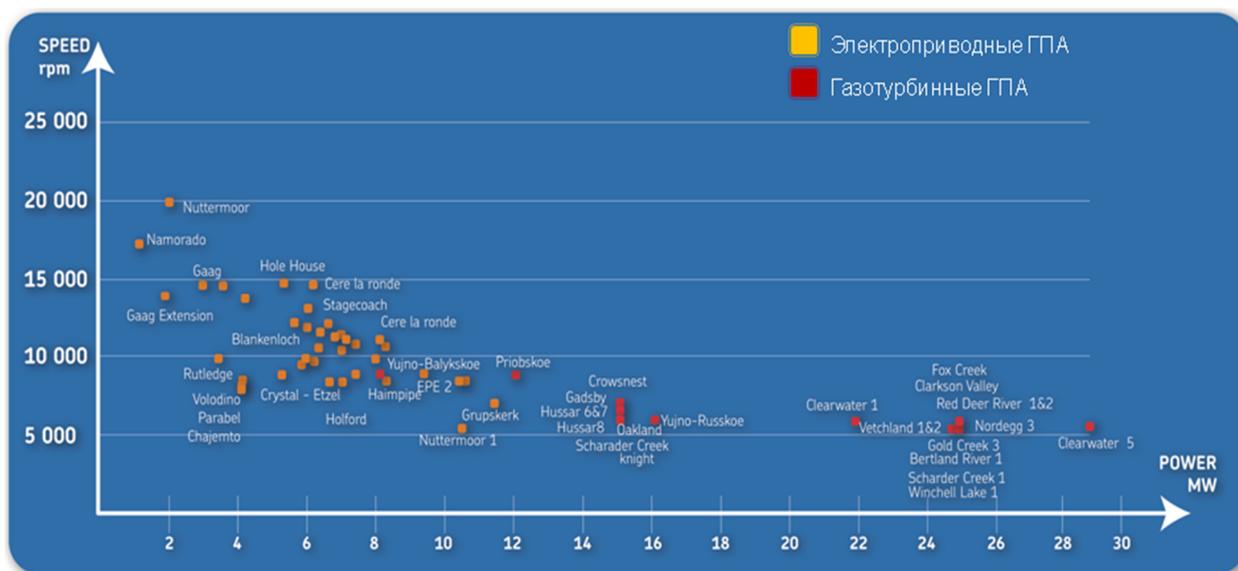


Рис. 5. Парк ЭГПА и ГТУ-компрессоров с активными ЭМП

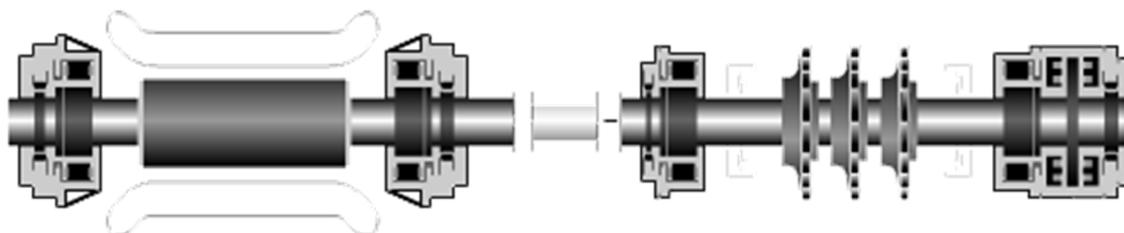
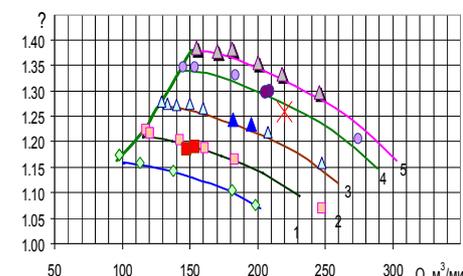
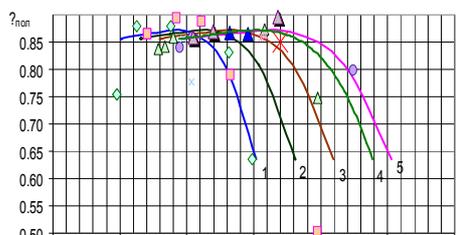
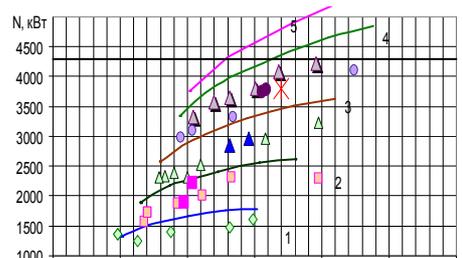
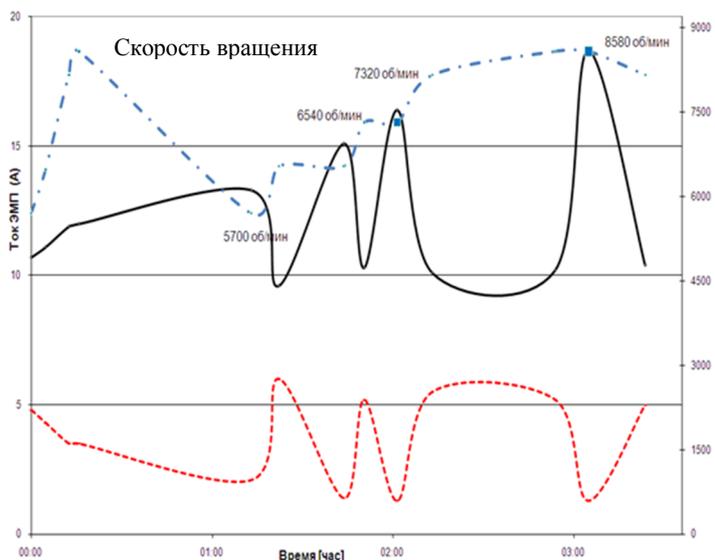


Рис. 6. Расположение систем активного ЭМП в моноблоке ЭГПА



◆ 5740 ▲ 7380 ■ 6560
● 8200 ▲ 8610 — граница помпажа
× точка по ТЗ

Характеристики по ТЗ 4386-07, п, об/мин.: $T_n=288.15 \text{ K}$
 1- 5740, 2- 6560, 3- 7380, $P_k=4.41 \text{ МПа}$
 4- 8200, 5- 8610. $\rho_{20.760}=0.757 \text{ кг/м}^3$
 (закрашенные режимы - работа в трассу)

Рис. 7. Экспериментальные характеристики на КС «Володино»: а – ЭГПА-4; б – газодинамические характеристики компрессора Н220-11-1СМП (ГПА №1, зав. № 10659)

Газодинамические испытания, проведённые на КС «Володино», КС «Парабель», КС «Чажемто» ООО «Газпром трансгаз Томск» и ряда других, показали (рис. 7), что применение ЭМП ЭГПА позволяет:

- повысить КПД агрегата и уменьшить расход электроэнергии;
- исключить из компоновки ЭГПА мультипликатор;
- использовать компрессоры с частотой вращения до 20000 об/мин;
- исключить систему масляного хозяйства;
- повысить ресурс ЭГПА, уменьшить затраты на ТОиР;
- повысить готовность агрегата к пуску, сократить время пуска;
- исключить выработку шеек вала ротора электродвигателя и ЦБН;

– повысить точность САУ дистанционного управления ЭГПА КС, сократить затраты на персонал, перейти к малолюдным технологиям (рис. 8).

Для объективной оценки эффективности ЭГПА с ЭМП сравним четыре основных варианта компоновки электрооборудования с СТД-12500-2:

1. Традиционная схема ЭГПА без ЭМП с двигателем, мультипликатором и нагнетателем, которые установлены на двух рамах и связаны между собой провалами, передающими крутящий момент от двигателя типа СТД к центробежному нагнетателю (ЦБН). Кроме того, в состав ЭГПА входят системы контроля, управления и защиты, системы маслосмазки и маслоуплотнения, а также система электропитания. Подача масла типа ТП-22 (ГОСТ 9972-74) к узлам ЭГПА производится главным маслососом шестерёнчатого типа, расположенным в корпусе редуктора, с приводом от

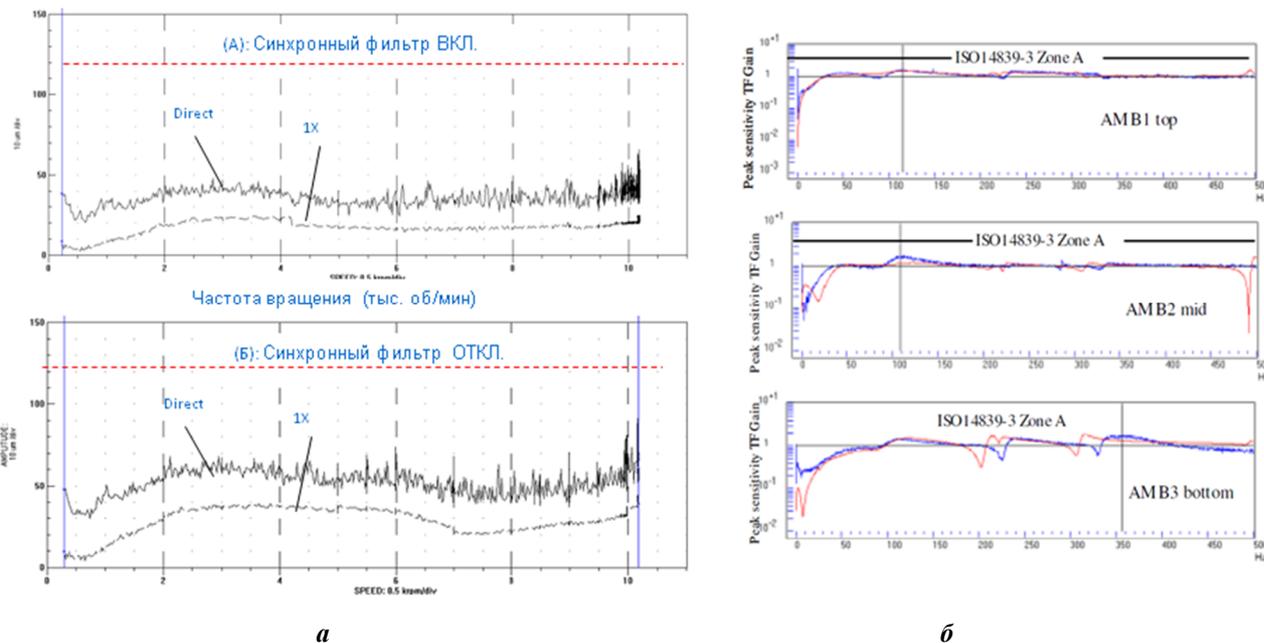


Рис. 8. Результаты испытаний ЭМП на соответствие нормам ISO 14939-3: *а* – амплитуды виброперемещений на ЭГПА-1 при требовании ISO менее 30 % зазора (2×60 мкм); *б* – максимальные значения K_{yc} для трёх ЭМП: расчёт (красным), измерения (синим) при требованиях ISO по устойчивости

вала колеса редуктора. Температура масла при пуске должна быть на уровне 35 °С. При работе ЭГПА температура подшипников не должна превышать 70 °С. Для повышения скорости вращения ЦБН Н-370 в данной структуре ЭГПА используются мультипликаторы типа РЦОТ-1,6. Контроль состояния ЭГПА и его ТОиР производится в соответствии с требованиями инструкций по ТОиР и Правилам устройства электроустановок (ПУЭ). Регулирование подачи ЦБН осуществляется путём дросселирования газа на входе при росте потерь энергии в ЭГПА.

2. ЭГПА с нагнетателем на ЭМП, электродвигателем и редуктором с маслосистемой, которые механически связаны аналогично варианту 1. Однако использование в компоновке нагнетателя ЭМП вала позволяет исключить маслосистему в ЦБН, что значительно упрощает всю маслосистему ЭГПА и её габариты, повышает надёжность установки с дистанционным контролем и управлением нагнетателем.

3. ЭГПА с нагнетателем на ЭМП и высокоскоростным АД с маслосистемой, которые размещаются на одной раме и связаны муфтой. Использование высокоскоростного АД исключает мультипликатор (табл. 2) и снижает массогабаритные показатели установки; исключить среднюю перего-

родку в здании КЦ и сократить его объём; снизить уровень шума в машзале КЦ; повысить надёжность работы ЭГПА в целом; при использовании ПЧ регулировать скорость вращения и производительность ЦБН средствами привода.

4. ЭГПА с нагнетателем и высокоскоростным АД на ЭМП, которые механически соединены аналогично варианту 3 или объединены в одном корпусе (вариант Alstom «МОПИКО»). Использование ЭМП ротора двигателя и вала нагнетателя позволяет: полностью исключить маслосистему ЭГПА; повысить температурную устойчивость работы агрегатов; увеличить ресурс работы; улучшить виброакустические характеристики; увеличить скорость вращения агрегатов и их производительность; снизить массогабаритные показатели и объём помещений машинного зала и улучшить экологию на КС.

В табл. 2 представлены результаты ТЭР четырёх вышеприведённых вариантов ЭГПА. При рассмотрении принята одноцоховая КС с синхронными двигателями типа СТД-12500 в количестве трёх рабочих и одного резервного агрегата, для которой определены капитальные и эксплуатационные затраты в текущих ценах. Ресурс всего оборудования, применяемого в ЭМП определён в 300 тыс. ч и основан на данных фирмы S2M.

Таблица 2

**Технико-экономическое сопоставление проектных показателей вариантов использования ЭМП
в ЭГПА с СТД-12500 на одноцеховой КС**

Показатели	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
	Редукторные схемы		Безредукторные схемы	
Технические характеристики ЭГПА				
Ресурс Д до капремонта, тыс. ч	50/50	50/50	50	300
Ресурс ЦБН до капремонта, тыс. ч	50	300	300	300
Срок службы ЭД/ЦБН, тыс. ч	100/100	100/300	100/300	300/300
Массогабариты, т	90,5	85	75	60
– $a \times b \times h$, м	12×4×4,6	12×4×4,6	9×3×4,2	9×3×4,2
Капитальные затраты (4 агрегата)				
Стоимость оборудования, млн. руб:	42,6	57	107,2	117
Электродвигатель	32	32	28	28
– Преобразователь частоты	–	–	56	56
– Нагнетатель	7,5	7,5	7,5	7,5
– Редуктор	1,6	1,6	–	–
– Маслосистема	1,5	0,7	0,7	–
– ЭМП	–	15	15	25,5
СМР	11,5	11,5	8	8
Маслонасосная установка, в том числе:	5,0	3,8	1,8	–
– Оборудование	3,5	2,0	1,5	–
– СМР	1,5	0,8	0,3	–
ИТОГО:	59,1	72,3	117	125
Эксплуатационные затраты (3 рабочих + 1 резервный агрегаты)				
Годовое потребление масла ТП-22С, т	26,3	5,3	3,5	–
Годовое потребление электроэнергии при коэффициенте загрузки КС $k_3 = 0,7$, МВт·ч	229950	224231	219634	218518

Таким образом, результаты исследований показывают:

1. Более 70% нештатных ситуаций, возникающих при эксплуатации ЭГПА, связаны с маслосистемами, необходимыми для смазки подшипников и уплотнений вала. В отличие от громоздких и ненадежных маслосистем ЭМП не требует постоянного внимания и работает по принципу «включил и забыл».

2. Системы ЭМП доказали свою пригодность и надежность для удержания в состоянии левитации роторов турбомашин и электродвигателей. Промышленная наработка отдельных агрегатов с ЭМП достигла 300 тыс. ч без аварийных остановов при высоких эксплуатационных характеристиках опор.

3. Первоначальные издержки на ЭМП (в соотношении 125 : 59) в дальнейшем значительно снижаются и окупаются в течение 2 – 3 лет.

Литература

1. Пужайло А. Ф., Спиридович Е. А., Крюков О. В. и др. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: монография / Под ред. О. В. Крюкова. – Н. Новгород: Вектор ТиС, 2010. – 570 с.

2. Крюков О. В. Стратегии инвариантных систем управления электроприводами объектов ПАО «Газпром» // Идентификация систем и задачи управления SICPRO'15: сборник. – М. : ИПУ им. В. А. Трапезникова РАН, 2015. – С. 368 – 386.

3. Крюков О. В., Горбатушков А. В., Степанов С. Е. Принципы построения инвариантных электроприводов энергетических объектов // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника. Труды IV Всероссийской научно-практической конференции: сборник / под общ. ред. В. Ю. Островляничка. – Новокузнецк, 2010. – С. 38 – 45.

4. Спиридович Е. А., Воронков В. И., Крюков О. В. Системная оптимизация энергопотребления агрегатов компрессорных станций // Наука и техника в газовой промышленности. – 2012. – №1 (49). – С. 58 – 70.

5. Крюков О. В. Опыт создания энергоэффективных электроприводов газоперекачивающих агрегатов // Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014 в 2-х тт. // Отв. за выпуск И. В. Гуляев. – Саранск, 2014. – С. 157 – 163.

6. Крюков О. В. Анализ моноблочных конструкций электрических машин для газоперекачивающих агрегатов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2015. – Т. 3. – № 4. – С. 53 – 58.

7. Крюков О. В. Парадигма применения электроприводных газоперекачивающих агрегатов на объектах ОАО «Газпром» // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии. Материалы МНТК: (XVIII Бенардосовские чтения): сборник. – Иваново, 2015. – С. 61 – 65.
8. Крюков О. В. Прикладные задачи теории планирования эксперимента для инвариантных объектов газотранспортных систем // Труды IX Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления», SICPRO`12: сборник. – 2012. – С. 222 – 236.
9. Крюков О. В. Комплексный анализ условий эксплуатации электродвигателей газоперекачивающих агрегатов // Компрессорная техника и пневматика. – 2013. – № 4. – С. 14 – 20.
10. Бабичев С. А., Бычков Е. В., Крюков О. В. Анализ технического состояния и безопасности электроприводных газоперекачивающих агрегатов // Электротехника. – 2010. – № 9. – С. 30 – 36.
11. Крюков О. В. Методология и средства нейронечёткого прогнозирования состояния электроприводов газоперекачивающих агрегатов // Электротехника. – 2012. – № 9. – С. 52 – 60.
12. Kryukov O. V. Electric drive systems in compressor stations with stochastic perturbations // Russian Electrical Engineering. – March 2013. – Vol. 84. – Issue 3. – P. 135 – 140.
13. Крюков О. В. Принципы малолюдных технологий в организации работы электроприводных компрессорных станций // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2014. – № 4. – С. 10 – 13.
14. Milov V. R., Suslov B. A., Kryukov O. V. Intellectual management decision support in gas industry // Automation and Remote Control, 2011. – Т. 72. – № 5. – С. 1095 – 1101.
15. Серебряков А. В., Крюков О. В., Васенин А. Б. Нечёткие модели и алгоритмы управления энергетическими установками // Материалы конференции «Управление в технических, эргатических, орг. и сетевых системах»: сборник / под ред. С. Н. Васильева. – 2012. – С. 467 – 469.
16. Крюков О. В. Виртуальный датчик нагрузки синхронных машин // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2014. – № 3. – С. 45 – 50.
17. Крюков О. В., Степанов С. Е. Модернизация систем управления электроприводными газоперекачивающими агрегатами // Проблемы автоматизации и управления в технических системах. Сборник статей МНТК / под ред. М. А. Щербакова. – Пенза, 2013. – С. 29 – 32.
18. Хлынин А. С., Крюков О. В. Реализация факторов энергоэффективности электроприводных газоперекачивающих агрегатов в проектах // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. – 2014. – Т. 1. – № 2. – С. 32 – 37.
19. Захаров П. А., Крюков О. В. Принципы инвариантного управления электроприводами газотранспортных систем при случайных возмущениях // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2008. – № 2. – С. 98 – 103.
20. Крюков О. В. Стабилизация систем электромагнитного подвеса роторов двигателей газоперекачивающих агрегатов // Компрессорная техника и пневматика. – 2013. – № 7. – С. 27 – 32.
21. Крюков О. В. Эксплуатация систем электромагнитного подвеса роторов двигателей газоперекачивающих агрегатов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2014. – № 7. – С. 13 – 20.
22. Крюков О. В., Титов В. Г. Автоматическая стабилизация систем электромагнитного подвеса роторов двигателей газоперекачивающих агрегатов // Автоматизация в промышленности. – 2011. – № 6. – С. 50 – 54.
23. Крюков О. В., Степанов С. Е., Бычков Е. В. Инвариантные системы технологически связанных электроприводов объектов магистральных газопроводов // Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014: сборник // Отв. за выпуск И. В. Гуляев. – Саранск, 2014. – С. 409 – 414.
24. Крюков О. В. Преимущества электромагнитного подвеса приводных электродвигателей газоперекачивающих агрегатов // Главный энергетик. – 2015. – № 9. – С. 16 – 23.
25. Крюков О. В., Васенин А. Б., Серебряков А. В. Экспериментальный стенд электромеханической части энергетической установки // Приводная техника. – 2012. – № 4. – С. 2 – 11.
26. Захаров П. А., Крюков О. В. Методология инвариантного управления агрегатами компрессорных станций при случайных воздействиях // Известия вузов. Электромеханика. – 2009. – № 5. – С. 64 – 70.
27. Крюков О. В., Степанов С. Е. Повышение устойчивости работы электроприводов центробежных нагнетателей на компрессорных станциях ОАО «Газпром» // Газовая промышленность. – 2014. – № 8 (710). – С. 50 – 56.
28. Крюков О. В. Анализ систем безопасного пуска электроприводных газоперекачивающих агрегатов // Компрессорная техника и пневматики. – 2012. – № 2. – С. 12 – 17.
29. Крюков О. В., Титов В. Г. Анализ пусковых режимов электроприводных газоперекачивающих агрегатов // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2012. – № 3. – С. 29 – 35.
30. Крюков О. В. Аппаратные и алгоритмические средства безопасного пуска электродвигателей большой мощности // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2013. – № 9. – С. 23 – 30.

Поступила в редакцию 01.12. 2016

Олег Викторович Крюков, д-р техн. наук, доцент,
главный специалист АО «Гипрогазцентр»,
т. (831) 428-25-84. E-mail: o.kryukov@ggc.nnov.ru .

PRACTICAL IMPLEMENTATION OF ROTOR ELECTROMAGNETIC SUSPENSION TECHNOLOGIES INTENDED FOR THE GAS COMPRESSOR UNITS

O.V. Kriukov

The industrial experience has been revised regarding the implementation of rotor electromagnetic suspension intended for the electric drive rotors of gas compressor units installed in the compressor stations of the main gas pipelines. Primary advantages of active electromagnetic suspension have been analyzed, such as enhancement of its reliability, life of equipment as well as- reduction of operation costs related to the maintenance of electrically driven gas compression units. The effective operation of the electromagnetic suspension in the dynamic modes as well as during the realization of partially manned and unmanned technologies has been analyzed and the results have been provided. Viable results of implementation of electromagnetic suspension direct-drive and oil-free technologies have been demonstrated. These technologies are intended for functional and reliability improvement as well as energy and ecological performance of the critical units in main gas pipelines.

Key words: *electromagnetic suspension, gas compressor unit; compressor station; electric drive; energy performance.*

References

1. Puzhailo A. F., Spiridovich E. A., Kriukov O. V., and others. Energy saving and automation of the compressor stations electric equipment: Monography / edited by Kriukov O.V. – Nizhny Novgorod: Vector TiS, 2010. – 570 p.
2. Kriukov O. V. Strategies of non-variant electric drive control systems of «Gazprom» PJSC // SICPRO'15 control tasks and system identification: Collection. – M. : Trapeznikov V. A. Institute of Control Sciences. – 2015. – P. 368 – 386.
3. Kriukov O. V., Gorbatushkov A. V., Stepanov S. E. The foundations of designing the non-variant electric drives of the power sites // Automated electric drive and industrial electronics. Proceedings of the IV National Research-to-Practice conference: collection / under the general editorship of Ostrovlianchik V. Iu. – Novokuznetsk, 2010. – P. 38 – 45.
4. Spiridovich E. A., Voronkov V. I., Kriukov O. V. System power consumption optimization of the compressor station units // Science and technology in gas industry. – 2012. – No 1 (49). – P. 58 – 70.
5. Kriukov O. V. Experience of manufacturing energy efficient electric drives for gas compressor units // Proceedings of the VIII International (XIX Russian national) conference on automated electric drive AED-2014 (2 tomes) // Releaser I. V. Guliaev. – Saransk, 2014. – P. 157 – 163.
6. Kriukov O. V. Analysis of the single block structures of homopolar machines intended for gas compression units // Industrial engineering: scientific internet journal. – 2015. – T. 3. – No 4. – P. 53 – 58.
7. Kriukov O. V. Paradigm of application of the electrically driven gas compression units on 'Gazprom' JSC installations // Current state and future development of electric and heat technologies. International science and technology conference records: (XVIII Benardos readings): Collection. – Ivanovo, 2015. – P. 61 – 65.
8. Kriukov O. V. Application tasks of the experiment planning theory intended for the non-variant objects of the gas-transport systems // Studies of the IX International conference «Control tasks and system identification», SICPRO'12: Collection. – 2012. – P. 222 – 236.
9. Kriukov O. V. Integrated analysis of the operation conditions of electric drives within the gas-transport units // Compressor engineering and pneumatics. – 2013. – No 4. – P. 14 – 20.
10. Babichev S. A., Bychkov E. V., Kriukov O. V. Analysis of the technical condition and reliability of electrically driven gas compressor units // Electric engineering. – 2010. – No 9. – P. 30 – 36.
11. Kriukov O. V. Methodology and tools of the neuro-fuzzy systems of predicting the condition of electric drives within the gas compressor units // Electric engineering. – 2012. – No 9. – P. 52 – 60.
12. Kryukov O. V. Electric drive systems in compressor stations with stochastic perturbations // Russian Electrical Engineering. – March 2013. – Vol. 84. – Issue 3. – P. 135 – 140.
13. Kriukov O. V. Basic principles of partially manned technologies in operation of electrically driven gas compressor stations // Electric equipment: Operation and maintenance. – 2014. – No 4. – P. 10 – 13.
14. Milov V. R., Suslov B. A., Kryukov O. V. Intellectual management decision support in gas industry // Automation and Remote Control, 2011. – T. 72. – No 5. – C. 1095 – 1101.
15. Serebriakov A. V., Kriukov O. V., Vasenin A. B. Fuzzy models and algorithms of control of enery installations // Conference proceedings 'Control processes within technical, ergatic, organizational and network systems': collection / edited by S. N. Vasilev. – 2012. – P. 467 – 469.
16. Kriukov O. V. Virtual load sensor of synchronous machines // Electric equipment: operation and maintenance. – 2014. – No 3. – P. 45 – 50.
17. Kriukov O. V., Stepanov S. E. Upgrading control systems of electrically driven gas compressor units // Engineering systems automation and control issues. International science and technology conference article collection / edited by M. A. Sherbakov. – Penza, 2013. – P. 29 – 32.

18. Khlynin A. S., Kriukov O. V. Implementation of the energy saving factors for gas compressor units in projects // Electric engineering: scientific internet journal. – 2014. – Т.1. – No 2. – P. 32 – 37.
19. Zakharov P. A., Kriukov O. V. The foundations of non-variant control over the electric drivers of gas-transport systems during random perturbations // Reporter of Ivanovo State Power University. – 2008. – No 2. – P. 98 – 103.
20. Kriukov O. V. Stabilization of the electromagnetic suspension systems intended for the drive rotors of the gas compressor units // Compressor engineering and pneumatics. – 2013. – No 7. – P. 27 – 32.
21. Kriukov O. V. Operation of electromagnetic suspension systems intended for the drive rotors of the gas compressor units // Electric equipment: Operation and maintenance. – 2014. – No 7. – P. 13 – 20.
22. Kriukov O. V., Titov V. G. Automated stabilization of the electromagnetic suspension systems intended for the drive rotors of the gas compressor units // Industrial automation. – 2011. – No 6. – P. 50 – 54.
23. Kriukov O. V., Stepanov S. E., Bychkov E. V. Non-variant systems of technologically interconnected electric drives of the main pipeline objects // Proceedings of the VIII International (XIX Russian national) conference on automated electric drive AED-2014: collection // releaser I. V. Guliaev. – Saransk, 2014. – P. 409 – 414.
24. Kriukov O. V. Benefits of the electromagnetic suspension intended for the electric drive motors of gas compression units // Chief power engineer. – 2015. – No 9. – P. 16 – 23.
25. Kriukov O. V., Vasenin A. B., Serebriakov A. V. Test bed of the power installation electromechanical part // Drive engineering. – 2012. – No 4. – P. 2 – 11.
26. Zakharov P. A., Kriukov O. V. Methodology of the non-variant control over the compressor station units under the random effects // News of the Higher Educational Institutions. Electromechanics. – 2009. – No 5. – P. 64 – 70.
27. Kriukov O. V., Stepanov S. E. Improving stability of electric drive operation of the centrifugal blowers on «Gazprom» JSC compressor stations // Gas industry. – 2014. – No 8 (710). – P. 50 – 56.
28. Kriukov O. V. Analysis of the safe launch systems intended for electrically driven gas compression units // Compressor engineering and pneumatics. – 2012. – No 2. – P. 12 – 17.
29. Kriukov O. V., Titov V. G. Analysis of launch modes of electrically driven gas compression units // News of the Higher Educational Institutions. Electromechanics. – 2012. – No 3. – P. 29 – 35.
30. Kriukov O. V. Hardware and algorithmic facilities intended for safe launch of high-power drives // Electric equipment: operation and maintenance. – 2013. – No 9. – P. 23 – 30.

*Oleg Victorovich Kriukov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Chief Specialist of «Giprogazcentr» JC,
tel. (831) 428-25-84.
E-mail: o.kryukov@ggc.nnov.ru .*